



**Mariana Leite**                      **Otimização da recolha de resíduos urbanos: Caso**  
**Teixeira Campos**                **de estudo de Aveiro**





**Mariana Leite  
Teixeira Campos**

**Otimização da recolha de resíduos urbanos: Caso de estudo de Aveiro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, e coorientação da Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.





Dedico esta tese de mestrado aos meus pais e à minha irmã



## **o júri**

presidente

**Professor Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva**

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Jorge Manuel Pessoa Girão Medina**

Professor Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos**

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

(Orientação)



## **agradecimentos**

Nesta fase final de mais uma etapa, é importante agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão da mesma.

Agradeço a todos os professores que sempre me auxiliaram ao longo deste percurso académico, em especial ao Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, orientador, pelo acompanhamento, disponibilidade, simpatia e conhecimentos transmitidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes, coorientadora, pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

Agradeço ainda a disponibilidade sempre demonstrada pelos Serviços Municipalizados de Aveiro, por parte do Eng. António Correia Pinto e da Eng<sup>a</sup>. Paula Lopes, bem como a simpatia, atenção e ajuda do Sr. Ricardo Vidal, durante a realização do trabalho de campo.

Agradeço também ao Eng. Luís Galiza a imprescindível ajuda prestada e disponibilidade sempre demonstrada.

Por outro lado, gostaria de expressar um especial agradecimento às pessoas que proporcionaram a realização deste percurso, os meus pais. Por todo o apoio, incentivo, compreensão, dedicação, sacrifício e carinho. Sem eles nada seria possível.

À minha irmã Catarina pelo apoio, paciência e compreensão nestes últimos anos.

À Tânia Monteiro e à Catarina Gonçalves pelo companheirismo, grande amizade, ajuda e apoio ao longo deste meu percurso académico.

Por fim, mas não por menos valor, à restante família e amigos que sempre me deram apoio e força na conclusão desta etapa.

A todos, o meu sincero agradecimento.



## palavras-chave

Gestão de resíduos urbanos, circuitos de recolha, sistemas de informação geográfica, análise de redes, base de dados, rede viária, otimização de circuitos, *Network Analyst*, *Vehicle Routing Problem*

## resumo

O elevado custo da operação de recolha de resíduos urbanos e a necessidade de cumprir metas dispostas em instrumentos legais são duas motivações que conduzem à necessidade de otimizar o serviço da recolha de resíduos.

A otimização da recolha de resíduos é um problema de elevada complexidade de resolução que envolve a análise de redes de transporte.

O presente trabalho propõe soluções de otimização da recolha de resíduos urbanos indiferenciados, a partir de um caso de estudo: o percurso RSU I 06 do município de Aveiro. Para este efeito, recorreu-se a uma aplicação informática de representação e análise geográfica: *software ArcGIS* denominada *ArcMap* e sua extensão *Network Analyst*, desenvolvida para calcular circuitos otimizados entre pontos de interesse.

O trabalho realizado de aplicação do *Network Analyst* inclui a apresentação de duas das suas funcionalidades (*Route* e *Vehicle Routing Problem*). Em relação ao atual circuito de recolha e com base nos ensaios efetuados, foi possível concluir que esta aplicação permite obter circuitos de recolha otimizados mais curtos ou com menor duração. Contudo, ao nível da gestão permitiu concluir que, com a atual capacidade de contentorização, seria viável reduzir a frequência de recolha de seis vezes por semana para metade, dividindo a área de recolha em duas áreas, de acordo com as necessidades de cada local, reduzindo ainda mais o esforço de recolha.

A aplicação do *Network Analyst* ao caso de estudo, permitiu concluir que é um *software* com muito interesse no processo de gestão da recolha de resíduos urbanos, apesar de apresentar algumas restrições de aplicação e que a qualidade/eficácia do procedimento de otimização depende da qualidade dos dados de entrada, em particular do descritivo geográfico disponível para os arruamentos e, em larga medida, também depende do modelo de gestão considerado.





**keywords**

Waste management, collecting routes, geographic information system, network analysis, database, road, routes optimization, *Network Analyst*, *Vehicle Routing Problem*

**abstract**

The two main issues that lead to the necessity of optimizing waste collection are the high costs related to the collection itself, and also the obligation to comply with the objectives imposed by the legislation.

The waste collection operation is a rather complex matter that involves the analysis of the transport network.

The aim of this essay is to create solutions that will optimize the waste collection in the RSU 106 route, in Aveiro. In order to fulfil this, one uses the *ArcMap* extension, *Network Analyst* that belongs to the software *ArcGIS*, which is developed to create optimized routes linking points of interest.

Regarding the results, several application trials of the software using two of its functionalities were presented: *Route* and *Vehicle Routing Problem*. In relation to the current waste collection route and based on the application trials, it was concluded that this application allows to find shorter or quicker optimized collection routes. However, it was also concluded that, with the current container capacity, the collection frequency could be reduced from six to three times a week, splitting the collection area into two different areas, according to specific needs of all locations and to reduce the waste collection effort.

*Network Analyst* can be in general very useful software in the collection operation. However, there are some restrictions to its use as the efficiency relies on the data inserted by the user, particularly the geographical descriptive that is available for the streets, but also depends on the management model.



## Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	ix
Lista de abreviaturas .....	xi
Nomenclatura .....	xii
1 Introdução .....	1
1.1 Motivações .....	2
1.2 Objetivos e estrutura da dissertação .....	3
2 Gestão de resíduos e Sistema de Informação Geográfico .....	5
2.1 Gestão de resíduos .....	5
2.1.1 Gestão de resíduos urbanos (RU) .....	5
2.1.2 Caracterização de resíduos urbanos .....	6
2.1.3 Enquadramento estratégico e legislativo .....	9
2.1.4 Operações de gestão de resíduos .....	12
2.1.4.1 Recolha .....	12
2.1.4.2 Transporte .....	12
2.1.4.3 Preparação para valorização ou eliminação .....	13
2.1.4.4 Valorização .....	14
2.1.4.5 Eliminação .....	15
2.1.5 Operação de recolha de resíduos urbanos .....	16
2.1.6 Otimização do processo de recolha .....	19
2.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) .....	21
2.2.1 SIG aplicados à gestão da recolha de resíduos .....	22
2.2.2 Articulação de um SIG e um SBD na gestão da recolha de RU .....	23
2.2.3 Potencialidades da aplicação de SIG na gestão da recolha de RU .....	24
2.2.4 Limitações da aplicação de SIG na gestão da recolha de RU .....	25
3 Problemas da otimização de percursos .....	27
3.1 Teoria dos grafos .....	27
3.2 Problema do caixeiro-viajante .....	28
3.3 Problema dos múltiplos caixeiros-viajantes .....	29
3.4 Problema do carteiro chinês .....	30
3.5 Problemas de percursos de veículos com múltiplos depósitos .....	30
3.6 Problemas de percursos de veículos com janelas temporais .....	30
3.7 Problema clássico de percursos de veículos .....	31
3.8 Métodos de cálculo para aplicação no problema de otimização de percursos .....	32
3.8.1 Métodos exatos .....	32

3.8.2	Métodos heurísticos.....	34
3.8.3	Métodos metaheurísticos.....	35
4	Análise de redes.....	39
4.1	Rede viária.....	42
4.1.1	Atributos da rede viária.....	42
4.1.2	Especificações necessárias da network dataset.....	43
4.1.3	Especificações das Network Locations (Localizações na rede).....	46
4.2	Funcionalidades do <i>Network Analyst</i> .....	48
4.2.1	Funcionalidade Route.....	48
4.2.2	Funcionalidade Service Area.....	50
4.2.3	Funcionalidade Closest Facility.....	52
4.2.4	Funcionalidade OD Cost Matrix.....	54
4.2.5	Funcionalidade Vehicle Routing Problem.....	56
4.2.6	Funcionalidade Location-Allocation.....	59
4.3	Métodos de cálculo associados às funcionalidades do <i>Network Analyst</i> .....	61
5	Caso de estudo: recolha de resíduos urbanos indiferenciados no município de Aveiro (Percurso RSU I 06).....	63
5.1	Descrição do caso de estudo.....	63
5.2	Gestão de resíduos urbanos indiferenciados em Aveiro.....	64
5.3	Caracterização de resíduos urbanos no município de Aveiro.....	66
5.3.1	Composição dos resíduos urbanos indiferenciados.....	66
5.3.2	Produção de resíduos urbanos.....	67
5.4	Sistema contentores de resíduos indiferenciados (Percurso RSU I 6).....	70
5.4.1	Inventário.....	70
5.4.2	Especificações.....	71
5.5	Caracterização do percurso RSU I 06.....	73
5.6	Tratamento dos dados em Sistemas de Informação Geográfica.....	74
5.6.1	Organização da informação.....	75
5.6.2	Representação.....	76
5.7	Definição da rede viária ( <i>Network Dataset</i> ).....	78
5.7.1	Rede viária.....	78
5.7.2	Network Dataset.....	83
5.7.3	Locais de acesso/paragem (Network Locations).....	85
5.7.3.1	Locais de recolha (orders).....	86
5.7.3.2	Ponto de partida (depots) e pontos de descarga de resíduos (depots, route renewals) 90	
6	Resultados e discussão.....	91
6.1	Percurso simples ( <i>Route</i> ).....	91
6.1.1	Cenário 1.....	92

6.1.2	Cenário 2 .....	93
6.1.3	Cenário 3 .....	95
6.1.4	Discussão dos resultados.....	97
6.2	Problema do percurso de veículos ( <i>Vehicle Routing Problem</i> ) .....	99
6.2.1	Ensaio de aplicação do VRP envolvendo as quantidades recolhidas, o tempo e a distância (Cenário 4).....	99
6.2.1.1	Cenário 4.1.....	100
6.2.1.2	Cenário 4.2.....	104
6.2.1.3	Discussão dos resultados do Cenário 4 .....	107
6.2.2	Ensaio de aplicação do VRP com adição do ServiceTime para cada local de recolha e para a descarga do veículo (Cenário 5) .....	109
6.2.2.1	Cenário 5.1.....	110
6.2.2.2	Cenário 5.2.....	113
6.2.2.3	Discussão dos resultados do Cenário 5 .....	117
6.2.3	Ensaio de aplicação do VRP com adição do MaxTotalTime (Cenário 6) .....	118
6.2.3.1	Cenário 6.1.....	119
6.2.3.2	Cenário 6.2.....	122
6.2.3.3	Discussão dos resultados do Cenário 6 .....	125
6.2.4	Ensaio de aplicação do VRP aumentando a capacidade do veículo de recolha (Cenário 7).....	126
6.2.4.1	Cenário 7.1.....	127
6.2.4.2	Cenário 7.2.....	130
6.2.4.3	Discussão dos resultados do Cenário 7 .....	133
6.2.5	Ensaio de aplicação do VRP com adição do MaxTotalTime ao veículo com capacidade de 15000 kg (Cenário 8) .....	134
6.2.5.1	Cenário 8.1.....	135
6.2.5.2	Cenário 8.2.....	139
6.2.5.3	Discussão dos resultados do Cenário 8 .....	141
6.3	Sequência dos pontos de visita originada pela aplicação Route e VRP .....	143
6.3.1	Route .....	144
6.3.2	Vehicle Routing Problem .....	145
6.3.3	Discussão dos resultados.....	147
6.4	Discussão dos resultados .....	148
6.5	Visão holística da recolha de resíduos .....	150
7	Conclusões e sugestões .....	155
7.1	Conclusões .....	155
7.2	Recomendações e Sugestões para trabalho futuro .....	156
	Referências bibliográficas .....	159
	Anexo A – Inventário de contentores de resíduos indiferenciados (RSU I 06).....	165

Anexo B – Códigos das freguesias .....	177
Anexo C – Quantidade de RSU depositadas em aterro em setembro de 2011 .....	179
Anexo D – Base de dados dos locais de recolha.....	181

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Sistemas de Gestão de RU em Portugal .....	6
Figura 2.2 – Operações de gestão de RU .....	7
Figura 2.3 – Caracterização física do RU .....	8
Figura 2.4 – Hierarquia na gestão de resíduos .....	10
Figura 2.5 – Descrição de sistemas em “baixa” e sistemas em “alta” .....	13
Figura 2.6 – Exemplo de unidade de triagem .....	14
Figura 2.7 – Exemplo de unidade de Tratamento Mecânico e Biológico .....	14
Figura 2.8 – Exemplo de unidade de produção de biogás através da digestão anaeróbia .....	15
Figura 2.9 – Funcionalidades de um SIG .....	22
Figura 3.1 – Grafo .....	28
Figura 3.2 – Exemplo de aplicação do algoritmo de <i>Dijkstra</i> .....	33
Figura 4.1 – Ambiente <i>ArcCatalog</i> .....	39
Figura 4.2 – Ambiente <i>ArcMap</i> .....	40
Figura 4.3 – Ambiente <i>ArcToolbox</i> .....	40
Figura 4.4 – Conetividade da rede viária (Caso 1: extremidades) .....	43
Figura 4.5 – Conetividade da rede viária (Caso 2: extremidade/ao longo da linha) .....	44
Figura 4.6 – Conetividade da rede viária (Caso 3: cruzamento) .....	44
Figura 4.7 – Conetividade da rede viária apenas nas extremidades das linhas .....	44
Figura 4.8 – Conetividade da rede viária em todos os vértices das linhas .....	45
Figura 4.9 – Erros comuns no estabelecimento da conetividade da rede viária .....	45
Figura 4.10 – Atributos de elevação, interseção a níveis diferentes .....	45
Figura 4.11 – Aproximação do veículo ao ponto: lado direito do veículo .....	47
Figura 4.12 – Aproximação do veículo ao ponto: lado esquerdo do veículo .....	47
Figura 4.13 – Aproximação do veículo ao ponto: ambos os lados do veículo .....	47
Figura 4.14 – Funcionalidades do Network Analyst .....	48
Figura 4.15 – Propriedades da <i>layer</i> da aplicação <i>Route</i> .....	49
Figura 4.16 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação <i>Route</i> .....	49
Figura 4.17 – Propriedades da <i>layer</i> da aplicação <i>Service Area</i> .....	51
Figura 4.18 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação <i>Service Area</i> .....	51
Figura 4.19 – Propriedades da <i>layer</i> da aplicação <i>Closest Facility</i> .....	53
Figura 4.20 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação <i>Closest Facility</i> .....	53
Figura 4.21 – Propriedades da <i>layer</i> da aplicação <i>OD Cost Matrix</i> .....	55
Figura 4.22 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação <i>OD Cost Matrix</i> .....	55
Figura 4.23 – Propriedades da <i>layer</i> da aplicação <i>VRP</i> .....	57
Figura 4.24 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação <i>VRP</i> .....	57
Figura 4.25 – Propriedades da <i>layer</i> da aplicação <i>Location-Allocation</i> .....	59

Figura 4.26 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação <i>Location-Allocation</i> ...	60
Figura 5.1 – Localização do município de Aveiro e suas freguesias .....	63
Figura 5.2 – Composição física do RU depositado em aterro .....	67
Figura 5.3 – Contentor do tipo PEAD .....	74
Figura 5.4 – Contentor subterrâneo .....	74
Figura 5.5 – Componentes da <i>Geodatabase</i> , Percurso RSU I 06, em <i>ArcCatalog</i> .....	75
Figura 5.6 – Representação em <i>ArcMap</i> dos locais de recolha .....	76
Figura 5.7 – Representação pormenorizada em <i>ArcMap</i> dos locais de recolha .....	77
Figura 5.8 – Representação em <i>ArcMap</i> do polígono representativo da área em estudo .....	78
Figura 5.9 – Representação em <i>ArcMap</i> dos arruamentos incluídos na área em estudo.....	79
Figura 5.10 – Exemplificação da quebra dos troços em todos os pontos de interseção.....	80
Figura 5.11 – Atributos de base da rede viária .....	81
Figura 5.12 – Criação da <i>Network Dataset</i> .....	83
Figura 5.13 – Propriedades gerais da <i>Network Dataset</i> .....	84
Figura 5.14 – Propriedades da <i>Network Dataset</i> , <i>Sources</i> .....	84
Figura 5.15 – Propriedades da <i>Network Dataset</i> , <i>Turns</i> .....	84
Figura 5.16 – Propriedades da <i>Network Dataset</i> , <i>Connectivity</i> .....	84
Figura 5.17 – Propriedades da <i>Network Dataset</i> , <i>Attributes</i> .....	85
Figura 5.18 – Propriedades da <i>Network Dataset</i> , <i>Directions</i> .....	85
Figura 5.19 – Barra de ferramentas do <i>Network Analyst</i> .....	85
Figura 5.20 – Atributos de base da tabela locais (locais de recolha) .....	87
Figura 6.1 – Ferramenta <i>Solve</i> do <i>Network Analyst</i> .....	91
Figura 6.2 – Propriedades definidas no cálculo do percurso (Cenário 1).....	92
Figura 6.3 – Representação do percurso obtido (Cenário 1).....	93
Figura 6.4 – Resultado obtido no cálculo do percurso (Cenário 1).....	93
Figura 6.5 – Propriedades definidas no cálculo do percurso (Cenário 2).....	94
Figura 6.6 – Representação do percurso obtido (Cenário 2).....	95
Figura 6.7 – Resultado obtido no cálculo do percurso (Cenário 2).....	95
Figura 6.8 – Propriedades definidas no cálculo do percurso (Cenário 3).....	96
Figura 6.9 – Representação do percurso obtido (Cenário 3).....	97
Figura 6.10 – Resultado obtido no cálculo do percurso (Cenário 3).....	97
Figura 6.11 – Atributos do Percurso 4 (Cenário 4.1) .....	101
Figura 6.12 – Representação do Percurso 4 (Cenário 4.1) .....	101
Figura 6.13 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 4.1) .	102
Figura 6.14 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 4.1)	103
Figura 6.15 – Representação dos locais de recolha abrangidos na terceira volta (Cenário 4.1) ..	103
Figura 6.16 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 4 (Cenário 4.1).....	104
Figura 6.17 – Atributos do Percurso 4 (Cenário 4.2) .....	105
Figura 6.18 – Representação do Percurso 4 (Cenário 4.2) .....	105



Figura 6.19 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 4.2).	106
Figura 6.20 – Representação dos locais de recolha na segunda volta (Cenário 4.2) .....	107
Figura 6.21 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> ao Percurso 4 (Cenário 4.2) .....	107
Figura 6.22 – Atributos do Percurso 5 (Cenário 5.1) .....	110
Figura 6.23 – Representação do Percurso 5 (Cenário 5.1) .....	111
Figura 6.24 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 5.1).	111
Figura 6.25 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 5.1)	112
Figura 6.26 – Representação dos locais de recolha abrangidos na terceira volta (Cenário 5.1)..	113
Figura 6.27 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 5 (Cenário 5.1) .....	113
Figura 6.28 – Atributos do Percurso 5 (Cenário 5.2) .....	114
Figura 6.29 – Representação do Percurso 5 (Cenário 5.2) .....	115
Figura 6.30 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 5.2).	115
Figura 6.31 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 5.2)	116
Figura 6.32 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 5 (Cenário 5.2) .....	116
Figura 6.33 – Atributos do Percurso 6 (Cenário 6.1) .....	119
Figura 6.34 – Representação do Percurso 6 (Cenário 6.1) .....	120
Figura 6.35 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 6.1).	121
Figura 6.36 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 6.1)	121
Figura 6.37 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 6 (Cenário 6.1) .....	122
Figura 6.38 – Atributos do Percurso 6 (Cenário 6.2) .....	123
Figura 6.39 – Representação do Percurso 6 (Cenário 6.2) .....	123
Figura 6.40 – Representação dos locais de recolha abrangidos na única volta (Cenário 6.2) .....	124
Figura 6.41 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 6 (Cenário 6.2) .....	124
Figura 6.42 – Atributos do Percurso 7 (Cenário 7.1) .....	127
Figura 6.43 – Representação do Percurso 7 (Cenário 7.1) .....	128
Figura 6.44 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 7.1).	129
Figura 6.45 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 7.1)	129
Figura 6.46 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 7 (Cenário 7.1) .....	130
Figura 6.47 – Atributos do Percurso 7 (Cenário 7.2) .....	131
Figura 6.48 – Representação do Percurso 7 (Cenário 7.2) .....	131
Figura 6.49 – Representação dos locais de recolha abrangidos na única volta (Cenário 7.2) .....	132
Figura 6.50 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 7 (Cenário 7.2) .....	132
Figura 6.51 – Atributos do Percurso 8 (Cenário 8.1) .....	136
Figura 6.52 – Representação do Percurso 8 (Cenário 8.1) .....	136
Figura 6.53 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 8.1).	137
Figura 6.54 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 8.1)	138
Figura 6.55 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 8 (Cenário 8.1) .....	138
Figura 6.56 – Atributos do Percurso 8 (Cenário 8.2) .....	139
Figura 6.57 – Representação do Percurso 8 (Cenário 8.2) .....	140

Figura 6.58 – Representação dos locais de recolha abrangidos na única volta (Cenário 8.2) .....	140
Figura 6.59 – Resultado de aplicação do <i>VRP</i> do Percurso 8 (Cenário 8.2).....	141
Figura 6.60 – Representação do percurso originado pela aplicação <i>Route</i> .....	144
Figura 6.61 – Resultado do percurso originado pela aplicação <i>Route</i> .....	144
Figura 6.62 – Tabela de atributos (extrato) com sequência de visita dos locais de recolha com a aplicação <i>Route</i> .....	145
Figura 6.63 – Representação do percurso originado pela aplicação <i>VRP</i> .....	146
Figura 6.64 – Resultado do percurso originado pela aplicação <i>VRP</i> .....	146
Figura 6.65 – Tabela de atributos (extrato) com sequência de visita dos locais de recolha com a aplicação <i>VRP</i> .....	147

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Quantidade de RU produzida ( $10^3$ ton).....	7
Tabela 2.2 – Quantitativos de resíduos retomados para reciclagem (ton) .....	8
Tabela 2.3 – Operações unitárias e respetiva descrição .....	19
Tabela 3.1 – Características de quatro problemas de otimização.....	31
Tabela 3.2 – Registo dos nós processados para o exemplo descrito .....	34
Tabela 3.3 – Melhores caminhos encontrados .....	34
Tabela 4.1 – Exemplos de especificidades da rede viária .....	42
Tabela 4.2 – Atributos das <i>Network Locations</i> .....	46
Tabela 4.3 – Classes de análise da aplicação <i>Route</i> .....	50
Tabela 4.4 – Classes de análise da aplicação <i>Service Area</i> .....	52
Tabela 4.5 – Classes de análise da aplicação <i>Closest Facility</i> .....	54
Tabela 4.6 – Classes de análise da aplicação <i>OD Cost Matrix</i> .....	56
Tabela 4.7 – Classes de análise da aplicação <i>VRP</i> .....	58
Tabela 4.8 – Classes de análise da aplicação <i>Location-Allocation</i> .....	60
Tabela 5.1 – Dados de população, área e densidade populacional de cada freguesia do município de Aveiro .....	64
Tabela 5.2 – Composição física do RU produzido na área geográfica do Sistema Multimunicipal do Litoral Centro .....	66
Tabela 5.3 – Quantidades mensais de RSU recolhidas no município de Aveiro, referentes ao ano de 2012.....	68
Tabela 5.4 – Quantidades de RSU recolhidas pela SUMA entre os anos de 1996 e 2012 .....	69
Tabela 5.5 – RSU entregue na unidade de TMB referente ao ano de 2013 .....	69
Tabela 5.6 – Modelo de cadastro dos locais de recolha.....	71
Tabela 5.7 – Modelo de cadastro dos locais de recolha simplificado.....	71
Tabela 5.8 – Frequência do serviço de recolha .....	72
Tabela 5.9 – Tipo de contrato .....	73
Tabela 5.10 – Descrição dos vários atributos da rede viária .....	82
Tabela 5.11 – Atributos da tabela de locais (locais de recolha) .....	87
Tabela 5.12 – Cálculo da quantidade recolhida por local de recolha (segunda-feira).....	88
Tabela 5.13 – Cálculo da quantidade recolhida por local de recolha (todos os dias exceto, segunda-feira e domingo) .....	89
Tabela 5.14 – Propriedades das <i>Network Locations</i> .....	89
Tabela 5.15 – Atributos dos pontos de partida e chegada .....	90
Tabela 6.1 – Resultados finais de cada cenário .....	98
Tabela 6.2 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 4.....	108
Tabela 6.3 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 5.....	117

Tabela 6.4 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 6 .....	125
Tabela 6.5 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 7 .....	133
Tabela 6.6 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 8 .....	142
Tabela 6.7 – Resumo dos resultados obtidos .....	147
Tabela 6.8 – Representação de um percurso alternativo .....	152

## Lista de abreviaturas

APA	- Agência Portuguesa do Ambiente
CMA	- Câmara Municipal de Aveiro
CPP	- <i>Chinese Postman Problem</i>
DL	- Decreto-Lei
EGF	- Empresa Geral de Fomento, S. A.
ERSUC	- Resíduos Sólidos do Centro, S. A.
ESRI	- <i>Environmental Systems Research Institute</i>
GEE	- Gases de Efeito de Estufa
GPS	- <i>Global Positioning System</i>
INE	- Instituto Nacional de Estatística
LER	- Lista Europeia de Resíduos
MAOTE	- Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia
MDVRP	- <i>Multi-Depot Vehicle Routing Problem</i>
MTSP	- <i>Multiple Traveling Salesman Problem</i>
PAYT	- <i>Pay As You Throw</i>
PCV	- Problema do Caixeiro Viajante
PERSU	- Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos
RSU	- Resíduo Sólido Urbano
RU	- Resíduo Urbano
SBD	- Sistema de Bases de Dados
SCFM	- Sistema de Contentor Fixo Mecanizado
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SIRAPA	- Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente
SIRER	- Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos
SUMA	- Serviços Urbanos e Meio Ambiente, S. A.
TM	- Tratamento Mecânico
TMB	- Tratamento Mecânico e Biológico
TSP	- <i>Traveling Salesman Problem</i>
VE	- Valorização Energética
VO	- Valorização Orgânica
VRP	- <i>Vehicle Routing Problem</i>
VRPTW	- <i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>
VRSPW	- <i>Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Windows</i>

## Nomenclatura

$C_H$	- Capacitação de resíduos urbanos	$[kg\ H.hab^{-1}.dia^{-1}]$
$f_{ck}$	- Fração volumétrica de utilização do contentor relativo ao fluxo k	$[m_k^3.m_{cont}^{-3}]$
$f_k$	- Frequência semanal de recolha do fluxo k	$[sem^{-1}]$
$M_R$	- Massa mensal de resíduos recolhida	$[kg.mês^{-1}]$
$m_i$	- Massa de resíduos a recolher em cada local i	$[kg.local\ i^{-1}]$
$n_C$	- Número total de contentores a recolher no percurso	$[cont.perc^{-1}]$
$n_{Ci}$	- Número de contentores presentes em cada local i	$[cont.local\ i^{-1}]$
$P_R$	- Número de percursos por mês	$[perc.mês^{-1}]$
$R(n)$	- Número de circuitos possíveis	$[circuitos]$
$R_k$	- Número de contentores disponíveis num dado percurso para a recolha do fluxo k	$[cont]$
$v_{ck}$	- Capacidade dos contentores de recolha do fluxo k	$[m_{cont}^3]$
$w_{kH}$	- Fração mássica que o fluxo k representa nos resíduos urbanos	$[kg\ k.kg\ H^{-1}]$
$\rho_k$	- Massa volúmica do fluxo k de resíduos no contentor	$[kg.m_k^{-3}]$

### Índices

k	- Índice do k-ésimo fluxo (indiferenciados, vidro, papel, etc.)
i	- Índice de local

## 1 INTRODUÇÃO

O contínuo aumento da procura e consumo de recursos observado até 2010 conduziu à elevada e exagerada produção de resíduos urbanos (RU). No entanto, a partir de 2011 a produção de RU tem sofrido um decréscimo acentuado, devido à crise económica que desde então se instalou. Da mesma forma, continua a ser fundamental reforçar a prevenção da produção de resíduos, favorecer a sua reutilização e reciclagem, prolongando desta forma o seu uso na economia antes de o restituir novamente no meio natural (*Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território*, 2011).

Os resíduos urbanos são uma consequência da atividade humana sendo caracterizados por apresentar uma natureza muito diversificada, assumindo diversas formas, diversos componentes e, por isso, apresentando diferentes propriedades físicas e químicas, e ocorrendo de uma forma dispersa no meio ambiente, constituindo assim um problema de gestão que se traduz em custos elevados (Cruz, 2005).

De acordo com a lei, cabe aos municípios a responsabilidade pela gestão dos resíduos urbanos na respetiva área de circunscrição. Atualmente os processos de tratamento (valorização e eliminação) são realizados por associações de municípios (sistemas municipais) que, tirando partido do efeito de escala, podem assim reduzir custos e impactes ambientais. Contudo a recolha dos resíduos urbanos é uma tarefa de gestão que se encontra diretamente sob responsabilidade municipal mesmo que, em concessão ou subcontrato, é ainda a que maior incidência apresenta no custo de gestão dos RU.

Sendo a recolha a etapa mais onerosa das operações de gestão de resíduos, podendo representar entre 40% a 70% dos custos de gestão, qualquer melhoria do processo poderá permitir obter economias significativas. A otimização dos circuitos de recolha é uma das possibilidades (Martinho & Gonçalves, 2000; Tavares et al., 2009).

Esta etapa tem uma elevada importância a nível económico, sendo também um dos maiores problemas operacionais que as autoridades locais têm que encarar (Karadimas et al., 2007). Além de económico, é também um problema ambiental sobre o qual as autoridades devem intervir, uma vez que, a excessiva deposição em aterro verificada nos últimos anos, agrava determinadas implicações ambientais, como a poluição das águas subterrâneas e o aquecimento global (Kanchanabhan et al., 2011).

No caso específico da recolha de resíduos urbanos indiferenciados, o objetivo da otimização prende-se com a melhoria do trajeto, por exemplo evitando que as viaturas de recolha tenham que percorrer a mesma rua mais do que uma vez, diminuindo o esforço de recolha (número de circuitos) sem alterar significativamente o serviço, isto é mantendo a frequência do serviço ou adequando-o às reais necessidades (Silva, 2009).

Os sistemas de informação geográfica (SIG) são ferramentas de representação geográfica de dados, que permitem armazenar, extrair, transformar e ver informação espacial georreferenciada (Chang et al., 1997; Monteiro, 2009). Na área da gestão de resíduos, os SIG possuem múltiplas aplicações que vão desde a representação simples de ecopontos, circuitos ou áreas de serviço (cadastro), passando por ligação a outra informação de representação geográfica (cadastro de habitação, ou população, redes de distribuição de tráfego, etc.), até às aplicações de análise geográfica (redes, etc.). Um exemplo é a criação de um percurso ótimo, com custos e distâncias menores (Rada et al., 2013). Esta criação de um percurso ótimo pode ser descrita como uma análise de redes, por exemplo redes de transporte. A aplicação dos SIG à análise de redes permite associar a cada arco e nó da rede um conjunto de especificações que são essenciais ao processo de otimização (Silva, 2009).

Neste caso específico, a aplicação SIG utilizada pertence à *ESRI – Environmental Systems Research Institute* e é denominada de *ArcMap* que faz parte de um conjunto de aplicações no âmbito da plataforma *ArcGIS*. O *software Network Analyst* que é uma extensão que opera em ambiente *ArcMap*, proporciona ferramentas para a análise de redes e otimização de rotas tendo em conta diversos fatores como o tempo, a direção e outras especificações (ESRI, 2013b).

## **1.1 MOTIVAÇÕES**

Sendo a recolha a etapa mais onerosa dos processos de gestão de resíduos, é fundamental equacionar uma forma de a realizar que optimize o processo nos diversos parâmetros: às quantidades a recolher, modo de recolha, do tipo de resíduo a recolher, do tipo de sistema de remoção, da frequência e do horário de recolha, (Pinto, 2012).

Por fim, é também essencial que os cidadãos encarem esta problemática de outra forma, levando à redução da produção de resíduos na fonte.

Por estas razões, e numa vertente futura, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias, metodologias e instrumentos que promovam a eficácia e sustentabilidade na



gestão da higiene e limpeza municipal e melhorem o respetivo desempenho operacional, ambiental e económico.

Atualmente já existem numerosos estudos sobre o problema de otimização de circuitos, uma vez que as empresas de gestão de resíduos pretendem reduzir os elevados custos que esta etapa acarreta. Assim, o principal objetivo destes problemas de otimização, é reduzir os custos de operação, diminuir emissões poluentes e promover um sistema de gestão integrado, equilibrando as equipas e informatizando os procedimentos de recolha.

## **1.2 OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O principal objetivo deste trabalho é a otimização da recolha de resíduos urbanos indiferenciados com recurso a SIG, especificamente fazendo uso de uma ferramenta de *software* suportada em ambiente SIG – o *Network Analyst* – aplicada ao cálculo de percursos otimizados entre pontos de interesse.

Para alcançar o referido objetivo principal, é necessário executar previamente outras tarefas:

- Atualização do inventário da rede de locais de recolha de resíduos urbanos indiferenciados;
- Recolha de informação relativa à recolha do fluxo de resíduos urbanos indiferenciados (quantitativos recolhidos por circuito de recolha);
- Caracterização do modelo atual de gestão (cálculo e análise de indicadores de gestão de resíduos urbanos);
- Representação dos locais e da rede viária em ambiente SIG (*ArcMap/ArcCatalog*);
- Preparação/adaptação de um cadastro da rede viária aplicada ao caso de estudo; definição de parâmetros/atributos;
- Pesquisa de modelos de análise para o estabelecimento de circuitos de recolha: critérios de seleção de circuitos de recolha;
- Estabelecimento automático de circuitos de recolha.

O presente trabalho está organizado em sete capítulos. No primeiro capítulo faz-se uma pequena introdução ao tema, apresentam-se as motivações que levam à realização do trabalho, os objetivos gerais e específicos. Por fim, é exposta a estrutura seguida ao longo do desenvolvimento da dissertação.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a gestão de resíduos urbanos e sistemas de informação geográfica. São descritas as operações de gestão de resíduos, com ênfase para a recolha; é feito o enquadramento legal do tema; são apresentadas as potencialidades e limitações da aplicação dos SIG à recolha de resíduos urbanos.

O terceiro capítulo apresenta o estado da arte sobre os principais problemas de otimização de percursos e respetivos métodos de cálculo.

No quarto capítulo é apresentado o *Network Analyst*, bem como a informação de base que necessita, as suas funcionalidades e os métodos de cálculo dessas mesmas funcionalidades.

O antepenúltimo capítulo refere o caso de estudo sobre o qual vai ser aplicado o *Network Analyst*. É feita uma descrição do caso de estudo, da zona onde está inserido e suas respetivas características; por outro lado, explica-se a metodologia utilizada no estudo, como a preparação das bases de dados, os critérios utilizados.

No sexto capítulo apresentam-se e discutem-se todos os resultados da aplicação do *Network Analyst* ao percurso em estudo.

Por último, o sétimo capítulo diz respeito às conclusões retiradas, à proposta de recomendações e sugestões para futuros trabalhos nesta temática da otimização de percursos de recolha de resíduos urbanos.

## **2 GESTÃO DE RESÍDUOS E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO**

### **2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS**

#### *2.1.1 GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS (RU)*

Em quase todas as atividades do nosso dia-a-dia está associada a produção de resíduos. Desta forma, esta produção de resíduos desempenha um papel fundamental na sociedade, onde a sensibilização e a própria consciencialização do cidadão são importantes na resolução deste problema.

A gestão de resíduos é o conjunto de atividades que visam o encaminhamento dos resíduos para um destino final ambientalmente adequado, economicamente viável e socialmente aceite (Matos, 2012). Este conjunto de atividades envolve a recolha, o transporte, a preparação para a valorização, a valorização e a eliminação dos resíduos (Matos, 2012). A gestão de resíduos é da responsabilidade dos municípios, no entanto, são normalmente realizadas por operadores especializados. A recolha e transporte designam-se por sistema em baixa, uma vez que são desempenhadas pelos sistemas municipais e por entidades privadas contratadas. Por outro lado, o sistema em alta diz respeito ao tratamento e destino final dos resíduos, realizado pelos sistemas intermunicipais ou multimunicipais (ERSAR, 2012).

Um RU é “o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações” (*Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território*, 2011). Assim, os resíduos urbanos são produzidos pelos agregados familiares e por pequenos ou grandes produtores de resíduos semelhantes (APA, 2012a).

Atualmente existem 23 sistemas de gestão de RU (12 multimunicipais e 11 intermunicipais), que pretendem levar a cabo as operações inerentes à gestão de resíduos em cada zona específica que lhes diz respeito (Figura 2.1) (APA, 2012a).

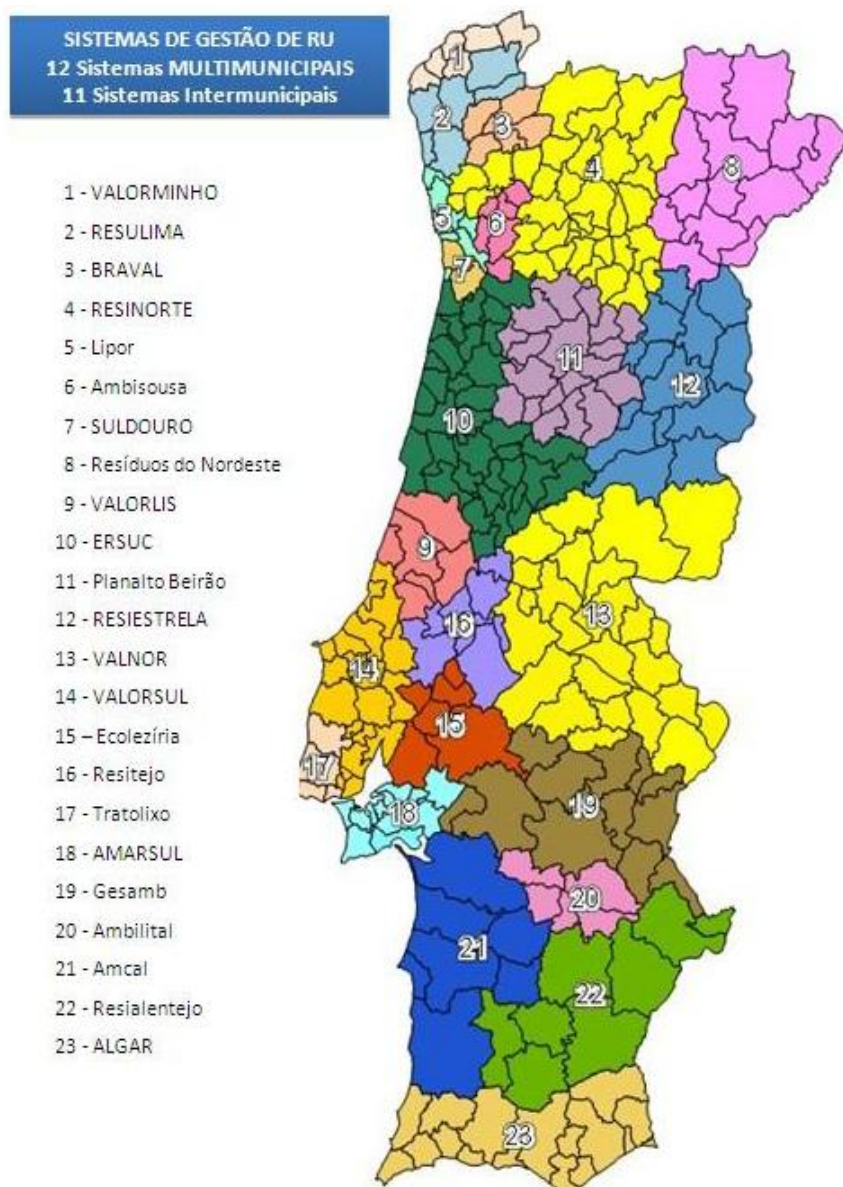


Figura 2.1 – Sistemas de Gestão de RU em Portugal (APA, 2012a)

### 2.1.2 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS URBANOS

A quantidade de RU produzida varia bastante e depende de variados fatores de natureza física, económica, social e tecnológica que vão condicionar a sua quantidade num dado local e instante. O conhecimento da sua composição, quantidade e localização espacial influencia num processo de tomada de decisão.

Até 2011 verificou-se uma tendência de crescimento da produção de RU, onde nesse ano a tendência se inverteu (Tabela 2.1) (APA, 2012b).

Tabela 2.1 – Quantidade de RU produzida ( $10^3$  ton) (APA, 2012b)

Região	2010	2011	2012
<b>Portugal Continental</b>	5.184	4.888	4.525
<b>Região Autónoma da Madeira</b>	133	124	114
<b>Região Autónoma dos Açores</b>	147	147	143
<b>Total</b>	<b>5.464</b>	<b>5.159</b>	<b>4.782</b>
<b>Variação face ao ano anterior</b>	-	↓6%	↓7%

Relativamente às opções de gestão de RU, apesar de ter diminuído 8% em três anos, a deposição direta em aterro continua a ser a tendência mais verificada, de acordo com a Figura 2.2. A valorização orgânica e energética aumentou 7% e 2%, respetivamente, no mesmo período de tempo, enquanto que, a taxa de reciclagem diminuiu 1%.

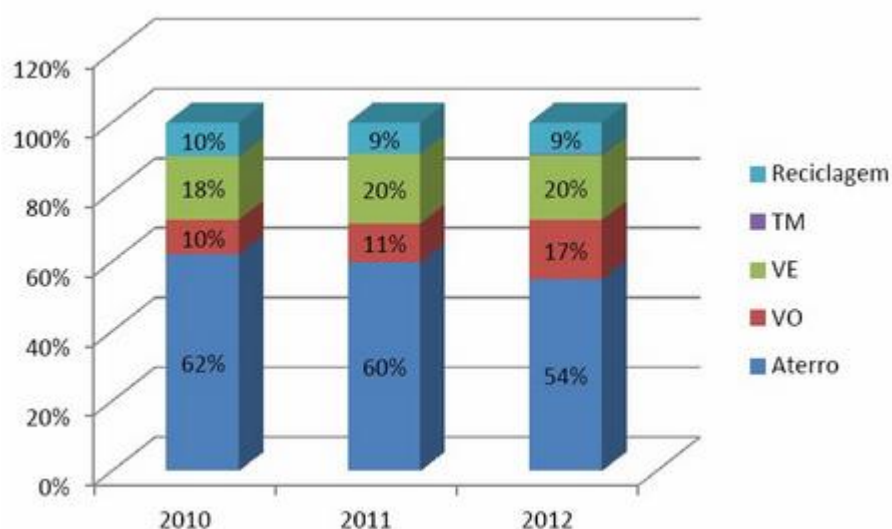


Figura 2.2 – Operações de gestão de RU (APA, 2012b)

Da totalidade de resíduos gerados, é possível observar (Tabela 2.2) uma redução significativa da quantidade de resíduos recicláveis entre 2010 e 2012. Torna-se assim fundamental inverter esta tendência devido aos objetivos definidos que tinham por base apostar na recolha seletiva e reutilização, desviando os resíduos recicláveis do aterro (APA, 2012b).

Tabela 2.2 – Quantitativos de resíduos retomados para reciclagem (ton) (APA, 2012b)

Resíduos retomados para reciclagem resultantes de:	2010	2011	2012
Unidades de incineração	15.550	15.182	12.242
Unidades TMB	16.148	20.814	19.909
Unidades de valorização orgânica (recolha seletiva de RUB)	0	25	283
Unidades TM	0	0	0 *
Unidades de triagem (papel/cartão e embalagens de metal/plástico) e recolha seletiva multimaterial de restantes fluxos/fileiras	457.353	395.015	365.790
<b>Total</b>	<b>489.051</b>	<b>431.036</b>	<b>398.223</b>
<b>Variação face ao ano anterior</b>	<b>-</b>	<b>↓12%</b>	<b>↓8%</b>

No que diz respeito à composição típica do RU produzido (Figura 2.3), esta depende das características da população, das condições climáticas, da época do ano e do nível de vida da população. Desta forma, é possível verificar que a produção de resíduos putrescíveis, de papel/cartão e de plástico ocupa grande parte da geração de RU.

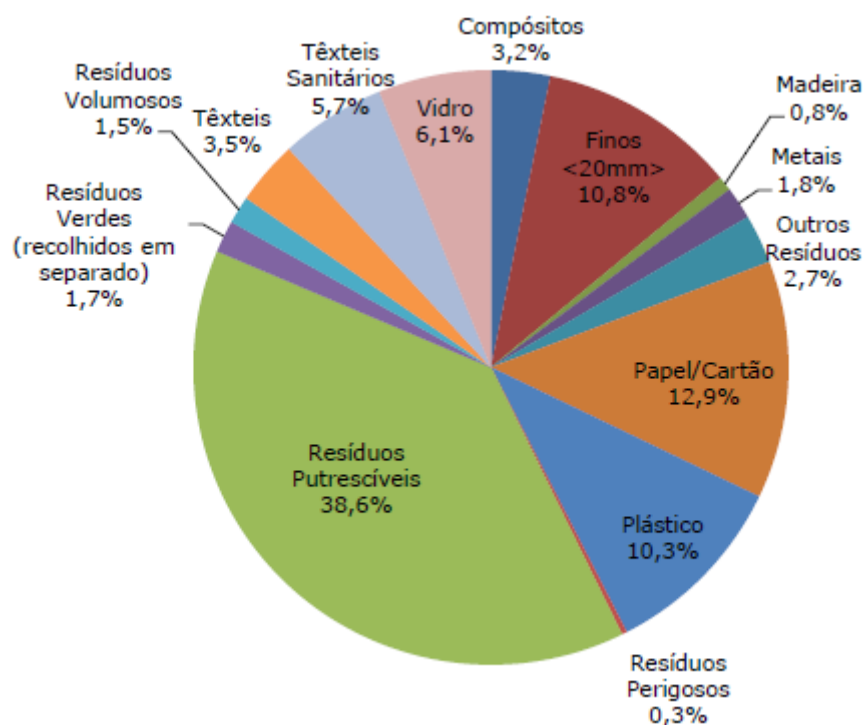


Figura 2.3 – Caracterização física do RU (APA, 2012b)

### 2.1.3 ENQUADRAMENTO ESTRATÉGICO E LEGISLATIVO

A legislação assume um papel de elevado relevo na conservação de recursos e no planeamento e gestão de resíduos.

Em Portugal, a identificação e classificação dos resíduos é feita de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER) que consta na Portaria n.º 209/2004, de 3 de março. Esta lista pretende facilitar o conhecimento do regime jurídico a que os agentes económicos estão sujeitos.

O Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho estabelece o regime geral aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos, transpondo a Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro. Este Decreto-Lei (DL) aplica-se às operações de gestão de resíduos, definindo diversos princípios gerais, estabelecendo o licenciamento das atividades de tratamento de resíduos, abordando o conceito de fim de estatuto de resíduo e o registo de informação na área da gestão. É fundamental referir a importância de cada um dos princípios gerais da gestão de resíduos, como (*Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2011*):

- Princípio da autossuficiência e da proximidade: refere que as operações de gestão de resíduos devem decorrer preferencialmente em território nacional e em instalações adequadas, obedecendo a critérios de proximidade;
- Princípio da responsabilidade pela gestão: refere que cabe ao produtor inicial dos resíduos, a responsabilidade pela gestão dos mesmos; a gestão de resíduos urbanos cuja produção diária não exceda os 1100 litros por produtor é assegurada pelos municípios;
- Princípio da hierarquia dos resíduos: refere que a política e legislação de resíduos deve respeitar a seguinte ordem de prioridades – Figura 2.4;

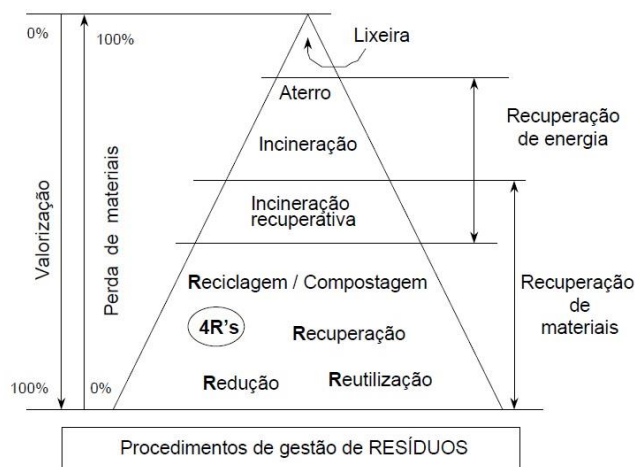


Figura 2.4 – Hierarquia na gestão de resíduos (Matos, 2009)

- Princípio da responsabilidade do cidadão: cidadãos contribuem para a prossecução dos princípios anteriores, devendo possuir comportamentos preventivos da produção de resíduos;
- Princípio da proteção da saúde humana e do ambiente: pretende evitar e reduzir riscos para a saúde humana e para o ambiente;
- Princípio da regulação da gestão de resíduos: gestão de resíduos é realizada de acordo com os princípios gerais fixados no DL n.º 73/2011;
- Princípio da equivalência: regime económico e financeiro das atividades de gestão de resíduos que visa a compensação dos custos sociais e ambientais que o produtor gera.

O instrumento estratégico da gestão de resíduos é o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), criado em 1997 na sua primeira versão, de forma a orientar os objetivos e políticas no setor dos resíduos. Da aplicação deste plano surgiram ações para que Portugal se conseguisse direccionar para uma política de gestão de resíduos. A evolução do setor foi impondo a revisão das estratégias do PERSU. Assim, surge o PERSU II, publicado através da Portaria n.º 187/2007, de 12 de fevereiro, que teve como princípios orientadores: a importância de uma política de resíduos alinhada de acordo com os compromissos para redução dos gases com efeito de estufa (GEE) e a necessidade de articular os vários documentos estratégicos para o enquadramento da política de resíduos sólidos (*Portaria n.º 187/2007, de 12 de fevereiro, 2007*). Este



documento define objetivos, metas e ações a implementar para o setor dos resíduos (redução da quantidade de resíduos biodegradáveis a enviar diretamente para aterro) e que se pretender atingir no período de 2007 a 2016. Estas metas serão conseguidas recorrendo a processos como a digestão anaeróbia, a compostagem, o Tratamento Mecânico e Biológico (TMB), a incineração com recuperação de energia e atribuindo também um papel fundamental ao cidadão. No PERSU II aposta-se na prevenção da produção de resíduos, promoção da reciclagem e melhoria da qualidade dos seus produtos (*PERSU II, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2007*).

Com a alteração do paradigma para uma visão integrada dos recursos naturais e com a promoção do crescimento verde, o Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (MAOTE) entendeu ser necessário proceder-se à aprovação do novo plano estratégico, PERSU 2020, que revoga o PERSU II e que define novas políticas, orientações e prioridades para os RU. O PERSU 2020 pretende reorientar a estratégia para os resíduos, tendo como objetivo garantir um alto nível de proteção ambiental e da saúde humana. Vai mais longe, na medida em que, promove a diminuição da produção e perigosidade dos resíduos, procurando uma forma de os integrar nos processos produtivos como materiais secundários, reduzindo impactes associados à extração dos recursos, assegurando a existência desses mesmos recursos aos processos produtivos e desenvolvendo o setor económico agregado à criação de postos de emprego (*PERSU 2020, do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2014*).

A Diretiva n.º 2008/98/CE, de 19 de novembro, estabelece o enquadramento legal para o tratamento de resíduos e medidas de proteção do meio ambiente e da saúde humana, levando à prevenção e redução dos impactes associados à gestão de resíduos (*Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de novembro, 2008*).

No artigo 45º do DL n.º 73/2011 de 17 de junho e no seguimento do DL n.º 178/2006 de 5 de setembro onde foi criado, o Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos (SIRER) possibilita o registo e acesso a dados sobre resíduos, por via eletrónica, substituindo os mapas de registo de resíduos, designado atualmente por Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente (SIRAPA).

Relativamente à valorização e eliminação de resíduos, é de destacar o seguinte conteúdo legal:

- DL n.º 85/2005 de 28 de abril, relativo à incineração e co-incineração de resíduos;

- DL n.º 183/2009 de 10 de agosto, relativo a aterros controlados de resíduos.

#### 2.1.4 OPERAÇÕES DE GESTÃO DE RESÍDUOS

De acordo com a alínea p) do artigo 3 do DL n.º 73/2011, a gestão de resíduos é definida como sendo “a recolha, o transporte, a valorização e a eliminação de resíduos, incluindo a supervisão destas operações, a manutenção dos locais de eliminação no pós-encerramento, bem como as medidas adotadas na qualidade de comerciante ou corretor”. Assim, todas as atividades como a recolha, a triagem, o transporte, o tratamento, a valorização e a eliminação, são atividades envolvidas na operação de gestão de resíduos (*Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território*, 2011).

##### 2.1.4.1 RECOLHA

Em concordância com a alínea cc) do artigo 3 do DL n.º 73/2011, a recolha de resíduos é “a apanha de resíduos, incluindo a triagem e o armazenamento preliminares dos resíduos para fins de transporte para uma instalação de tratamento de resíduos”.

Como esta dissertação envolve um estudo mais pormenorizado da operação de recolha, a mesma vai ser descrita no tópico 2.1.5.

##### 2.1.4.2 TRANSPORTE

O transporte tem como objetivo transferir os resíduos recolhidos para estações de transferência ou de tratamento, permitindo a concentração dos resíduos em locais específicos (Matos, 2012).

O transporte pode denominar-se “transporte em baixa” quando é feito a partir dos circuitos de recolha e “transporte em alta” se for a partir das estações de transferência. Do transporte faz também parte o transporte para os operadores que realizam a reciclagem material (Figura 2.5) (Matos, 2012).

Como se pode observar na Figura 2.5, o sistema em “baixa”, da responsabilidade dos municípios, refere-se às operações de recolha e transporte desde os locais de deposição até às estações de transferência ou, na ausência destas, às estações de valorização e tratamento. Por outro lado, um sistema em “alta”, cuja responsabilidade é delegada nas

entidades gestoras dos sistemas de gestão de resíduos, diz respeito às operações que decorrem desde a estação de transferência até à valorização/eliminação final em aterro.

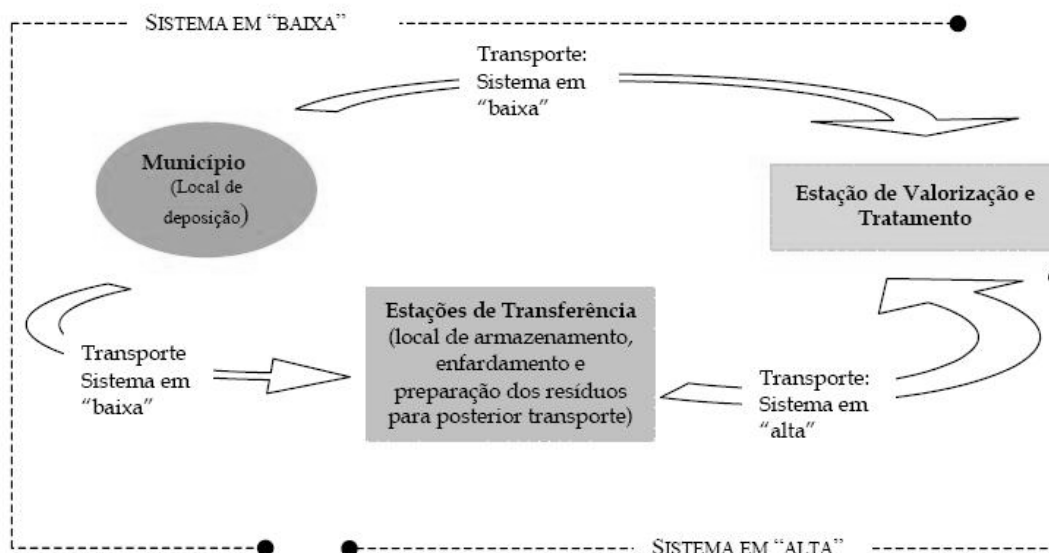


Figura 2.5 – Descrição de sistemas em “baixa” e sistemas em “alta” (Monteiro, 2009)

#### 2.1.4.3 PREPARAÇÃO PARA VALORIZAÇÃO OU ELIMINAÇÃO

O tratamento de resíduos é um conjunto de processos manuais, mecânicos, físicos, químicos ou biológicos que têm como objetivo reduzir o volume ou a perigosidade dos resíduos, facilitando assim a sua movimentação/transporte (Matos, 2012).

A operação de tratamento, que envolve processos de triagem, limpeza dos resíduos, secagem, trituração, compactação, acondicionamento, etc., pretende melhorar as características dos materiais que têm como destino final a eliminação, reduzindo os custos de operação e os impactos ambientais associados (Matos, 2012).

A triagem diz respeito ao ato de separação de resíduos através da utilização de processos manuais ou mecânicos e sem alterar as suas características. A triagem aplica-se à fração de RU com origem na recolha seletiva e tem como objetivo facilitar o transporte, a valorização e a eliminação (Figura 2.6) (Matos, 2012).

Na Figura 2.7 está ilustrado um exemplo de uma unidade de TMB que realiza um conjunto de processos de tratamento de resíduos, como mencionado anteriormente.



Figura 2.6 – Exemplo de unidade de triagem (“ERSUC,” 2013a)



Figura 2.7 – Exemplo de unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (“ERSUC,” 2013a)

#### 2.1.4.4 VALORIZAÇÃO

A valorização é um conjunto de operações identificadas em conteúdo legal (Portaria n.º 209/2004 de 3 de março), tendo como objetivo a reciclagem de forma a reintegrar o material no ciclo produtivo de bens como matéria-prima ou para produção de energia (Matos, 2012). De acordo com a alínea qq) do artigo 3 do DL n.º 73/2011, a valorização é definida como sendo “qualquer operação, nomeadamente as constantes no anexo II do presente Decreto-Lei, cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico ou a preparação dos resíduos para esse fim na instalação ou conjunto da economia”.

A valorização proporciona um aumento do tempo de vida dos materiais, uma poupança energética e uma redução das quantidades de resíduos para eliminação. No entanto, estes processos têm associados custos mais elevados e impactes ambientais mais severos (Matos, 2012).

Os conjuntos de operações envolvem: processos químicos (dissoluções, oxidações, reduções de material), processos termoquímicos (realizados a altas temperaturas na presença ou ausência de oxigénio, com o objetivo de recuperar produtos químicos ou aproveitar energia) e processos biológicos (realizados por microorganismos em condições aeróbias ou anaeróbias, a temperaturas inferiores a 70°C, tendo como objetivo a reciclagem/recuperação de matéria orgânica e nutrientes) (Figura 2.8) (Matos, 2012).



Figura 2.8 – Exemplo de unidade de produção de biogás através da digestão anaeróbia (“ERSUC,” 2013a)

#### 2.1.4.5 ELIMINAÇÃO

De acordo com a alínea m) do artigo 3 do DL n.º 73/2011, a eliminação é definida como sendo “qualquer operação que não seja de valorização, nomeadamente as incluídas no anexo I do presente Decreto-Lei, ainda que se verifique como consequência secundária a recuperação de substâncias ou de energia”.

Este conjunto de operações, identificadas em matéria legal (Portaria n.º 209/2004, de 3 de março), inclui entre outros (Matos, 2012):

- Incineração: operação de tratamento termoquímico, realizado a altas temperaturas, que tem como objetivo aproveitar energia através da eliminação de resíduos;
- Aterro controlado: operação que envolve a deposição de resíduos no solo, com o objetivo de isolar os resíduos do meio ambiente; neste confinamento decorre um processo biológico na ausência de oxigénio com libertação de biogás e lixiviantes;
- Confinamento técnico: operação que envolve o isolamento de resíduos sem conteúdos orgânicos como escórias e cinzas;

- Solidificação: operação que envolve imobilizar alguns elementos metálicos em matrizes inorgânicas solidificáveis quando em contacto com água.

### 2.1.5 OPERAÇÃO DE RECOLHA DE RESÍDUOS URBANOS

A operação de recolha de resíduos, segundo o DL n.º 73/2011, diz respeito à “apanha de resíduos, incluindo a triagem e o armazenamento preliminares dos resíduos para fins de transporte para uma instalação de tratamento de resíduos”, fazendo parte das atividades de higiene e limpeza urbana, que se encontra regulamentada em postura municipal. A gestão desta etapa é assegurada pelos municípios, sendo organizada em circuitos de recolha (Matos, 2012). Um circuito de recolha é um trajeto planeado previamente a nível de pontos de recolha, dias e horário. Um circuito/volta diz respeito à sucessão de locais de visita, articulados entre si através de critérios de otimização (distância, tempo), no âmbito da realização de um serviço de um determinado percurso (Matos, 2014). A recolha deve ser delineada com base nas condições locais (ex: capacidade de recolha do equipamento instalado) e nas características de cada município (urbano ou rural). Assim, a frequência e o horário da recolha a escolher para uma dada zona depende: do tipo de recolha, do fluxo de resíduos a recolher e respetivo volume, da composição dos resíduos, do efeito sobre a taxa de produção, crescimento de doenças e riscos para a saúde pública, do tipo de meio, das especificações da rede viária e do tráfego, das condições climatéricas, da época do ano, dos hábitos da população, da produtividade e rendimento do serviço e dos custos associados (Silva, 2009).

Desta forma, o rácio de contentores (Eq. 2.1) ou a própria frequência de recolha (Eq. 2.2) podem ser calculados através das seguintes expressões (Matos, 2014):

$$R_k = 7C_H w_{kH} \frac{1}{\rho_k} \frac{1}{f_{ck}} \frac{1}{v_{ck}} \frac{1}{f_k} \cdot 1000 \quad (\text{Eq. 2.1})$$

$$f_k = 7C_H w_{kH} \frac{1}{\rho_k} \frac{1}{f_{ck}} \frac{1}{v_{ck}} \frac{1}{R_k} \cdot 1000 \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Onde,

$R_k$  – número de contentores disponíveis num dado percurso para a recolha do fluxo  $k$ ;

$C_H$  – capitação de resíduos urbanos;

$w_{kH}$  – fração mássica que o fluxo  $k$  representa nos resíduos urbanos;

$\rho_k$  – massa volúmica dos fluxo  $k$  de resíduos no contentor;

$f_{ck}$  – fração volumétrica de utilização do contentor relativo ao fluxo  $k$ ;

$v_{ck}$  – capacidade dos contentores de recolha do fluxo  $k$ ;

$f_k$  – frequência semanal de recolha do fluxo  $k$ .

A estratégia de recolha deve ser integrada e, por isso, incorporar vários objetivos. Assim, o sistema deve (Carvalho, 2008):

- Fornecer adequados níveis de serviço que vão de encontro às necessidades específicas;
- Atingir custos reduzidos, sempre que possível;
- Ser flexível ao ponto de ser possível implementar alterações;
- Ter políticas que apelem à redução da produção de resíduos;
- Desenvolver parcerias com outros setores.

Esta componente é fundamental no âmbito da gestão de resíduos como recurso, na medida em que, é a tarefa mais dispendiosa do sistema de gestão, é a imagem do serviço (interface entre sistema e cidadão) e porque depende do comportamento por parte dos utentes (Carvalho, 2008).

O Princípio do Poluidor-Pagador (*Pay As You Throw – PAYT*) é um dos princípios fundamentais de qualquer política integrada de gestão de resíduos. O objetivo deste princípio é o de criar condições para uma redução da produção de resíduos, uma vez que obriga a que o produtor do resíduo seja o primeiro responsável pelo encaminhamento para um destino ambientalmente adequado. Este princípio está claramente declarado na Resolução da Assembleia da República n.º 8/2013.

A recolha de resíduos urbanos pode ser classificada de acordo com diferentes critérios: tipo de resíduos recolhidos, local, frequência e horário de recolha (Pinto, 2012).

Relativamente ao tipo de resíduos recolhidos, a recolha pode ser indiferenciada, seletiva ou separativa, envolvendo este estudo apenas a recolha de RU indiferenciados. A recolha indiferenciada envolve infraestruturas de contentores herméticos que recebem resíduos indiferenciados e veículos com sistema de carga e descarga dos contentores (Matos, 2012).

Em relação ao local de recolha, pode ser porta a porta (individual), em locais de recolha da via pública (coletiva) e mista (Carvalho, 2008). A recolha porta a porta é um sistema de remoção que é distribuído a cada edifício e que responsabiliza os cidadãos pela

colocação dos resíduos à porta, num determinado dia e horário ao qual a recolha é efetuada (Pinto, 2012). Por outro lado, a recolha em pontos da via pública é feita em locais estabelecidos pelo município e estando os utentes responsáveis pela colocação dos resíduos nos contentores, que se encontram afastados, no máximo, cerca de 150/200 metros. As zonas mistas envolvem em simultâneo os dois sistemas (Pinto, 2012).

No que diz respeito à frequência e horário de recolha distingue-se a recolha diária, semanal ou outra frequência e a recolha diurna e noturna (Martinho & Gonçalves, 2000). Em centros urbanos, é aconselhável fazer a recolha à noite que, apesar de conduzir ao aumento dos custos, facilita o processo devido à densidade urbanística e ao excesso de tráfego verificados durante o dia.

Em relação ao tipo de sistema de recolha de contentores, estes podem ser: sistema de recolha fixo-mecanizados e sistema de recolha de contentores móveis (Matos, 2009). No primeiro sistema, o veículo desloca-se ao primeiro local de recolha, recolhendo os resíduos e prosseguindo para os restantes locais de recolha. No caso do sistema de contentores móveis de grandes dimensões, a operação pode realizar-se de duas formas (Martinho & Gonçalves, 2000):

1. Veículo desloca-se ao primeiro ponto, descarrega um contentor vazio, carrega o contentor cheio e dirige-se ao local de deposição;
2. Veículo desloca-se ao primeiro ponto, carrega o contentor cheio, dirige-se ao local de deposição e regressa ao primeiro ponto para descarregar o contentor vazio.

A operação de recolha pode assim ser subdividida em 5 operações unitárias (Tchobanoglous et al., 1993): tempo de e para o parque de viaturas, tempo efetivo ou distância de recolha, tempo ou distância de transporte, tempo necessário à deposição e tempo fora do circuito/tempos mortos (Tabela 2.3).



Tabela 2.3 – Operações unitárias e respetiva descrição

<b>Operação unitária</b>	<b>Descrição</b>
Tempo de e para o parque de viaturas	Tempo gasto de e para o parque de viaturas até ao primeiro local de recolha e desde o ultimo ponto, respetivamente
Tempo efetivo ou distância de recolha	Tempo/distância que o veículo demora a encher desde o primeiro ao último local de recolha
Tempo ou distância de transporte	Tempo ou distância desde o último local de recolha (quando o veículo atinge a sua capacidade máxima) até ao local de descarga e regresso ao primeiro local de recolha da segunda volta, quando aplicável
Tempo necessário à deposição	Tempo de espera no local de deposição (pesagem à entrada e saída + lavagem dos rodados + descarga do veículo)
Tempo fora do circuito/tempos mortos	Tempo necessário (tempo gasto a preencher as folhas, na preparação/reparação/manutenção do equipamento, no excesso de tráfego, nas refeições) Tempo desnecessário (tempo abusivo por exemplo, na hora da refeição)

O sucesso dos sistemas de recolha depende da capacidade de oferecer aos cidadãos um sistema que crie o mínimo distúrbio. Assim, o sistema deve ser flexível como forma de atingir as necessidades específicas dos utentes (Rada et al., 2013). Por outro lado, os aspetos económicos são fundamentais porque se pretende minimizar custos, otimizando o processo ao máximo. Desta forma, estas intervenções sobre o sistema devem ter conta todos os fatores, visando otimizar a recolha, minimizando custos e impactes ambientais (De Feo & Malvano, 2012).

#### 2.1.6 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE RECOLHA

A recolha de RU é organizada em circuitos de recolha previamente planeados mediante fatores como o tipo de resíduos a recolher, as características do terreno a percorrer, as características e capacidade das viaturas e o horário da equipa de recolha, visando a obtenção de circuitos equilibrados (Carvalho, 2008).

Estes circuitos equilibrados são os que conseguem que a equipa de recolha cumpra o circuito no tempo que estava previamente estipulado, pretendendo reduzir o elevado custo associado à etapa de recolha de resíduos (Carvalho, 2008). Segundo Rhyner *et al.*

(1995), o processo de determinação destes circuitos equilibrados designa-se por análise macro-circuito.

Para reduzir custos e aumentar a eficiência do processo é fundamental otimizá-lo. Esta otimização é aplicada tanto na implementação de novos circuitos, como também no reajuste dos já existentes, conduzindo especificamente à redução do consumo de combustível e consequente decréscimo das emissões poluentes para a atmosfera. A otimização da recolha pretende minimizar o número de circuitos, evitando que um veículo de recolha percorra o mesmo arruamento mais do que uma vez. Desta forma, existem processos de planeamento e organização de circuitos que são também referidos como análise micro-circuito (Tchobanoglous et al., 1993).

A recolha de RU é uma preocupação cada vez maior, independentemente das características do sistema de gestão (Karadimas et al., 2007). Recentemente, muitos dos municípios depararam-se com a necessidade de avaliar os seus sistemas de gestão e examinar os custos e impactes ambientais, como forma de otimizar os seus circuitos (Karadimas et al., 2007). Os mesmos autores mencionam que os custos de um sistema de gestão dependem da localização, quantidade e composição do RU, do contexto social em que surgem, da tecnologia usada na sua recolha, das distâncias percorridas e dos recursos humanos envolvidos, tornando o processo de otimização de extrema complexidade.

A gestão da operação de recolha e a sua otimização podem ser apoiadas em indicadores que descrevem o funcionamento e os custos associados e que serão utilizados para melhorar a produtividade e desempenho dos sistemas. Os dados necessários ao cálculo de indicadores deverão ser obtidos em levantamentos de campo e tratamento estatístico. Este tipo de indicadores pode ser aplicado na avaliação da eficácia de circuitos, em *benchmarking* entre circuitos e em exercícios de simulação (Santos, 2011).

Especificamente para a avaliação de circuitos aplicam-se indicadores de desempenho operacional, ambiental, social e/ou económico (Santos, 2011). Os primeiros avaliam as ações das várias entidades com o intuito de melhorar o seu desempenho. Por outro lado, os indicadores ambientais expressam um tipo de informação relevante que caracteriza ou auxilia a caracterização de problemas e impactes ambientais. Por fim, os indicadores sociais e económicos fornecem dados sobre o nível de vida dos cidadãos e informação financeira, respetivamente (Santos, 2011).

O interesse que advém da utilização de indicadores diz respeito à obrigatoriedade do cumprimento de metas fixadas em documentos legais e à necessidade de avaliar o desempenho dos vários sistemas (ERSAR, 2012).

Para o caso específico da recolha de RU, os indicadores de gestão são úteis para traçar percursos, para avaliar o nível de enchimento dos contentores e para perceber o comportamento dos vários locais de recolha, ao nível das quantidades produzidas e das próprias atitudes individuais dos cidadãos que são abrangidos por cada local de recolha.

Apesar dos sistemas de recolha de resíduos envolverem problemas muito complexos, Schur & Shuster (1974) identificaram alguns princípios mais simples que podem ser aplicados à otimização de circuitos:

- Os circuitos não devem ser fragmentados ou sobrepostos;
- Os circuitos devem incluir segmentos de ruas (troços) que pertençam à mesma área geográfica;
- As quantidades a recolher e a distância a percorrer no âmbito de cada circuito devem ser aproximadamente constantes para cada circuito;
- Cada circuito deve começar o mais próximo possível do local onde o veículo de recolha se encontra;
- Os resíduos das ruas de maior tráfego rodoviário devem ser recolhidos fora do horário de ponta;
- A recolha deve processar-se no sentido descendente das ruas.

## **2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)**

O conceito de SIG surgiu nos anos sessenta com o objetivo de sobrepor no mesmo mapa, vários tipos de dados (Burrough, 1986). Esta tecnologia está em constante evolução e é constituída por ferramentas que auxiliam o processo de gestão e a análise de dados.

Um SIG é uma ferramenta de suporte a uma base de dados especificamente desenhada para recolher, armazenar, reutilizar, transformar e visualizar os dados espaciais da realidade (Burrough, 1986). Desta forma, permite manipular dados (mapas, cadastro, imagens de satélite...) e combinar a informação para fazer diversas análises sobre os dados.

Através da Figura 2.9 são observadas as funcionalidades de um SIG.



Figura 2.9 – Funcionalidades de um SIG (Matos et al., 2013)

Os dados são o elemento mais importante na criação de um SIG, podendo ser de dois tipos: dados espaciais e dados alfanuméricos. Os dados espaciais ou dados gráficos dizem respeito à base geográfica obtidos por *GPS (Global Positioning System)*, deteção remota, fotografia aérea, cartografia, digitalização, etc.... Os dados alfanuméricos ou dados não gráficos estão armazenados sob a forma de tabelas nas bases de dados.

A aplicação SIG utilizada neste trabalho é da *ESRI*, que envolve um conjunto de sistemas que processam a informação geográfica, denominando-se *ArcGIS* (Shuttleworth et al., 2008). O *ArcGIS* dispõe de várias aplicações, como por exemplo, o *ArcMap*, *ArcCatalog* e *ArcToolbox*. O *ArcMap* é utilizado para criar mapas e analisar informação geográfica; o *ArcCatalog* tem funções específicas para aceder e gerir as bases de dados; o *ArcToolbox* contém uma série de ferramentas para gerir e converter os dados (ESRI, 2013b).

### 2.2.1 SIG APLICADOS À GESTÃO DA RECOLHA DE RESÍDUOS

Embora a sua aplicação não seja ainda muito utilizada, os SIG já integram as questões de gestão ambiental, com vista ao planeamento e concretização de objetivos.

Aplicados ao ambiente, os SIG têm como objetivo ajudar à proteção do ambiente, minimizar os custos e possibilitar a ocorrência de um mercado cada vez mais competitivo e evoluído.

A recolha e transporte de resíduos é o ponto de contacto entre a produção de resíduos e os seus sistemas de gestão (Kanchanabhan et al., 2011). Para este caso específico da gestão de RU, o interesse dos SIG por esta temática não se encontra ainda muito desenvolvido como se demonstra pela ausência de especificações normativas, ao contrário do que acontece em outros domínios (cadastro predial, redes de águas e esgotos, etc.). No entanto, apresenta um enorme potencial para aplicação na gestão de resíduos (Matos, 2012):

- Localização espacial dos contentores;
- Levantamento do cadastro de contentores;
- Avaliação das necessidades de contentorização com base na densidade populacional;
- Monitorização dos níveis de enchimento dos contentores em tempo real;
- Criação de circuitos de recolha com base nas características da rede viária e nas necessidades específicas de recolha.

Por outro lado, o uso de *software* SIG permite a divulgação de informação ao público, a gestão administrativa dos contratos de prestação de serviços de recolha, a avaliação do desempenho ambiental e operacional através do uso de indicadores e *benchmarks*,...

### 2.2.2 ARTICULAÇÃO DE UM SIG E UM SBD NA GESTÃO DA RECOLHA DE RU

Como já foi mencionado anteriormente, um SIG é um suporte georreferenciado de informação sob a forma de base de dados, que contém especificações diversas, articuladas entre si (Matos et al., 2013). Esta articulação proporciona uma representação visual muito eficiente da informação, sendo possível aceder, atualizar e analisar toda essa informação, quando necessário.

Os Sistemas de Base de Dados (SBD) constituem uma ferramenta indispensável quando se pretende uma organização eficiente de toda a informação; representam uma forma de apresentar toda a informação sempre atualizada (Matos et al., 2013). A informação contida em base de dados está armazenada em tabelas, onde cada coluna exibe um

novo campo/atributo. Desta forma, as várias tabelas podem relacionar-se entre si, através da presença de campos comuns.

A introdução de informação nos SBD é feita através de formulários que são criados com base nas tabelas que se pretendem construir.

Relativamente à operação de recolha de RU, os SBD podem conter um vasto conjunto de informação como (Matos et al., 2013):

- Especificações gerais (tipologia de serviços, tipologia de RU);
- Especificações particulares (locais/ecopontos/locais de recolha, função de cada local, arruamentos, freguesias, utentes e faturação, percursos, circuitos);
- Equipamentos (tipo, capacidade, frequência, contrato dos contentores; tipo, estado do veículo);
- Equipas e turnos;
- Operação de higiene e limpeza (registo temporal e local da operação alocação, recolha, percurso, limpeza dos equipamentos, das ruas e outros serviços específicos).

A utilização de toda esta informação na gestão do serviço de higiene e limpeza urbana permite reduzir custos e aumentar a eficiência. Por outro lado, a articulação dos dois sistemas aplicada à gestão de RU tem um enorme potencial de oportunidades, embora apresente algumas dificuldades associadas à falta de especificidades e modelos de organização da informação (Matos et al., 2013).

### *2.2.3 POTENCIALIDADES DA APLICAÇÃO DE SIG NA GESTÃO DA RECOLHA DE RU*

Sendo a operação de recolha uma das etapas mais complexas da gestão de resíduos, torna-se urgente/necessário encontrar processos efetivos que ajudem a gerir essa complexidade. Os SIG enquadrados pelos SBD constituem ferramentas com um enorme potencial para esse efeito (Matos et al., 2013).

Efetivamente, uma aplicação de SDB aplicada à gestão de resíduos pode suportar, para além do cadastro de todos os componentes (infraestrutura de recolha, arruamentos, localização da população) e intervenientes (operacionais, cidadãos, empresas e prestadores de serviço), a gestão corrente referente às tarefas administrativas,

operacionais, de fiscalização, que alimentam com informação as bases de dados (Matos et al., 2013; Monteiro, 2009).

Por outro lado, se existir uma ligação a um serviço de gestão de património, seria possível saber, em tempo real, quais são os contentores que estão em mau estado e que necessitam de ser substituídos.

Outra potencialidade da utilização dos SIG à gestão da recolha de RU prende-se com a existência de dispositivos que permitem a monitorização e envio de informação a partir do dispositivo instalado no terreno de alocação de resíduos, contentores com sensores de carga ou detetores de nível. Esta informação poderia ser usada para atualização automática nos SBD, permitindo uma otimização em SIG dos circuitos estabelecidos, passando os veículos de recolha a circular apenas nos locais onde há necessidade efetiva, baseada em critérios objetivos tais como o nível de enchimento ou a massa de resíduos alocados em cada contentor (Matos et al., 2013).

Por fim, e possuindo informação demográfica e um historial de recolha, é possível programar o serviço a executar, em função das necessidades reais.

#### *2.2.4 LIMITAÇÕES DA APLICAÇÃO DE SIG NA GESTÃO DA RECOLHA DE RU*

Apesar da tecnologia SIG ser já bastante avançada, a sua taxa de utilização na área da gestão de resíduos é ainda reduzida. Desta forma, existem inúmeras limitações que acabam por condicionar o uso desta tecnologia. Estas limitações prendiam-se em primeiro lugar com a ausência de especificações para uma estrutura de bases de dados na área da gestão municipal de RU, que se traduz na ausência de informação organizada e sistemática necessária à construção e implementação das bases de dados (Matos et al., 2013).

Por outro lado, os atributos das bases de dados não são específicos, dependendo do tipo de problema em causa e do objetivo pretendido.

Relativamente à gestão de resíduos é necessário existir um cadastro da rede viária com os respetivos atributos que caracterizam o tráfego, o sentido de circulação viária, os limites de velocidade, etc., e um cadastro dos locais de recolha (diferenciada ou indiferenciada) (Monteiro, 2009).

### 3 PROBLEMAS DA OTIMIZAÇÃO DE PERCURSOS

O problema da otimização de percursos envolve a definição de um trajeto percorrido por um dado veículo que tem um ponto de origem e que visita os vários destinos pretendidos uma única vez. O objetivo principal é a minimização do custo total do serviço, garantindo que a carga do veículo não excede a capacidade máxima do mesmo. Desta forma, determinam-se vários circuitos, percorridos pelos vários veículos, minimizando a distância percorrida, recorrendo à utilização de um menor número de veículos e otimizando os custos associados a esses veículos e recursos humanos necessários (Oliveira, 2008).

#### 3.1 TEORIA DOS GRAFOS

A análise de redes tem revelado possuir elevada utilidade na aplicação a problemas de Investigação Operacional, como redes de comunicação (estradas, caminhos de ferro, telefones, energia elétrica, etc.), planeamento de tarefas, problemas associados à produção ou distribuição de um determinado bem (Hill et al., 2008).

Desta forma, as soluções de problemas de transporte baseiam-se nesta temática da análise de redes, sendo estas utilizadas para determinar trajetos de menor custo. Uma rede, interpretada através de um grafo, representa a interação entre vários locais definidos por pontos (Hill et al., 2008; Silva, 2009). Assim, os problemas de otimização de circuitos podem ser explicados recorrendo à teoria dos grafos, onde estes acabam por constituir uma representação gráfica dos vários fluxos de bens, sendo compostos por arcos (arestas, ramos, ligações) e nós (pontos, vértices, junções) (Silva, 2009). A cada aresta poderá estar associado um determinado custo. Por outro lado, quando existem estradas de sentido único, obtém-se um dígrafo ou grafo dirigido, ou de vários sentidos possíveis, constituindo assim um multigrafo (Patrício, 2006).

A Figura 3.1 representa um grafo, composto por 5 nós (A, B, C, D e E) e 6 arcos (AB, AC, AD, BC, CD e DE). Pelo exposto anteriormente, a seta no ramo AB significa que o ramo é dirigido de A para B, onde o movimento de B para A não se realiza. Dois ramos dizem-se conexos quando possuem um nó em comum, como por exemplo, AB e AC. Desta forma, um percurso é uma sequência de ramos conexos, onde nenhum nó é repetido nessa mesma sequência (Silva, 2009). Exemplificando, {ED, DC, CA} é um percurso, no entanto, {CA, DC, CB} já não é um percurso, uma vez que, o nó C ocorre duas vezes na sequência.



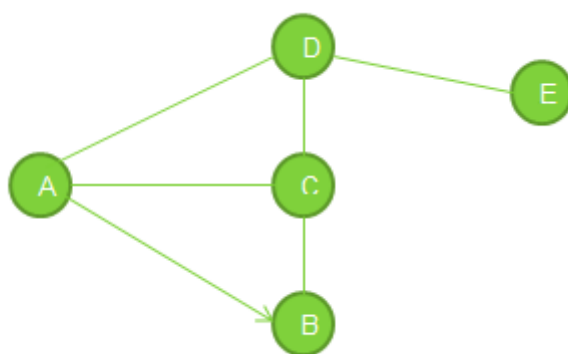


Figura 3.1 – Grafo

Na teoria dos grafos, podem ser aplicados vários algoritmos para a resolução do problema, tais como o caminho mais curto, mais rápido e com custo mínimo. Relativamente a este último algoritmo de custo mínimo, a cada arco está associado um dado peso, onde o objetivo é a obtenção do percurso de menor peso (Silva, 2009). O custo do caminho depende do objetivo pretendido, mas poderá ser estimado através do comprimento, velocidade, tempo, etc. Concluindo, pretende-se determinar um circuito que ligue a origem ao destino e onde o custo associado a esse circuito seja mínimo.

### 3.2 PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE

Um exemplo clássico de um problema de otimização é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), do inglês, *Traveling Salesman Problem (TSP)*. Este problema foi pela primeira vez estudado no século XVIII por um matemático irlandês de nome, *Sir William Rowan Hamilton* e o britânico *Thomas Penyngton Kirkman* (Matai et al., 2010).

O *TSP* tem como objetivo a determinação de um único circuito que vai ser percorrido por um dado veículo, que se desloca a cada nó apenas uma vez e cujo custo associado é mínimo. Para encontrar a solução para este problema, recorre-se à teoria dos grafos, exemplificada no ponto anterior, no entanto, o problema é de difícil resolução, apesar da facilidade da sua interpretação. Desta forma, é conhecido por ser um problema do tipo *NP-Hard*, uma vez que, não se conhecem algoritmos capazes de obter a sua solução exata (Matai et al., 2010).

O *TSP* é extremamente relevante na medida em que, tem uma enorme aplicação prática, no entanto, é de difícil resolução exata. A primeira consideração a fazer neste problema é

reduzir um problema de otimização a um de enumeração, descobrindo todos os circuitos possíveis, calculando o comprimento de cada um e verificando qual o menor.

O *TSP* considera que o veículo deve sair de uma dada base de origem, realizar o respetivo serviço pretendido e regressar a essa mesma base, não tendo em conta se as restrições de capacidade do veículo e as afetações (entregas ou recolhas) são determinantes no processo.

Sendo  $n$  o número de locais a visitar, para encontrar o número de rotas possíveis  $R(n)$ , basta utilizar uma análise combinatória simples. Assim, se  $n = 4$  locais, a primeira e última posições são fixas, não afetando assim o cálculo. Escolhendo  $A$  como sendo o local de origem, na segunda posição, poderão colocar-se os locais  $B$ ,  $C$  e  $D$ ; na terceira posição, colocam-se os dois locais restantes; por fim, para a última posição resta um único local. Desta forma, o número de rotas possíveis é  $3 \times 2 \times 1 = 6$  e, generalizando, obtém-se  $R(n) = (n-1)!$  (Oliveira, 2008).

Seja  $c_{ij}$  o custo da deslocação de  $i$  para  $j$  e onde  $x_{ij}$  é igual a 1, se o trajeto  $i \rightarrow j$  for válido, ou igual a 0, se o mesmo trajeto não for válido; a formulação matemática do *TSP* está estabelecida da seguinte forma (Bodin et al., 1983):

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Eq. 3.2})$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Eq. 3.3})$$

A resolução do problema é obtida com base numa matriz  $X = (x_{ij})$  com distância mínima, de forma a obter uma solução de custo mínimo.

### 3.3 PROBLEMA DOS MÚLTIPLOS CAIXEIROS-VIAJANTES

O problema dos múltiplos caixeiros-viajantes, do inglês *Multiple Traveling Salesman Problem* (*MTSP*) é um famoso problema do tipo *NP-Hard* e uma extensão do *TSP* (Hou & Liu, 2012). Comparando o *MTSP* com o *TSP* é possível verificar que o primeiro aplica-se para mais do que um único veículo, determinando-se assim vários circuitos. Por outro lado, a pesquisa sobre o *MTSP* é ainda bastante limitada, apesar de ser útil na aplicação a problemas relacionados com transportes e definição de rotas.

Desta forma, o *MTSP* envolve múltiplos veículos, em que cada um parte de um ponto de origem, visita os vários locais uma única vez e regressa novamente ao ponto de partida. Tal como o *TSP*, este problema não incorpora restrições de capacidade dos veículos e as afetações são determinantes no processo.

### **3.4 PROBLEMA DO CARTEIRO CHINÊS**

O problema do carteiro chinês, do inglês *Chinese Postman Problem (CPP)* é uma variação do problema do caixeiro-viajante. Neste caso, os clientes estão localizados em cada arco da rede, e não nos nós. O objetivo do *CPP* é a determinação de um único percurso com custo mínimo, onde o veículo percorre todos os arcos apenas uma única vez (Pearn & Chou, 1999). Da mesma forma, este problema não envolve restrições de capacidade do veículo e as afetações são determinantes para análise do mesmo.

### **3.5 PROBLEMAS DE PERCURSOS DE VEÍCULOS COM MÚLTIPLOS DEPÓSITOS**

Do inglês *Multi-Depot Vehicle Routing Problem, MDVRP*, o problema de percursos de veículos com múltiplos depósitos, é uma extensão do *Vehicle Routing Problem (VRP)*, mas que utiliza múltiplos depósitos (Surekha, 2011). Ou seja, os vários veículos partem simultaneamente de vários depósitos e retornam ao mesmo depósito (Surekha, 2011).

### **3.6 PROBLEMAS DE PERCURSOS DE VEÍCULOS COM JANELAS TEMPORAIS**

Do inglês *Vehicle Routing (and Scheduling) Problem with Time Windows, VRSPTW* ou *VRPTW*, o problema de percursos de veículos com janelas temporais, é outra extensão do *VRP*, que envolve restrições de tempo (Afshar-Nadjafi & Afshar-Nadjafi, 2014). As janelas temporais complicam a aplicação deste problema, uma vez que, acrescentam horários de atendimento (entrega ou recolha) de uma dada encomenda.

A presença de janelas de tempo é importante, uma vez que, o custo total do percurso envolve o custo de tempo de viagem, o custo da distância total percorrida e o custo de tempo de espera enquanto não é feita a entrega (Solomon & Desrosiers, 1988).

Não têm sido efetuados grandes estudos sobre o *VRPTW*, o que implica que as aplicações do *VRP* acabem por ficar limitadas, uma vez que, as janelas de tempo não são consideradas restrições (Solomon & Desrosiers, 1988).

### 3.7 PROBLEMA CLÁSSICO DE PERCURSOS DE VEÍCULOS

Do inglês, o *Vehicle Routing Problem (VRP)* é conhecido como o problema da otimização de rotas de veículos, podendo ser aplicado à recolha de RU, aos transportes escolares e à distribuição de produtos e bens (Toth & Vigo, 2002). Apesar das áreas anteriormente mencionadas serem diferentes, têm em comum a utilização de um conjunto de veículos de prestação de um serviço e respetivas infraestruturas utilizadas (Baldacci et al., 2008; H. D. P. da Silva, 2013). O objetivo da otimização para o caso específico do *VRP* envolve a definição do melhor trajeto para um ou mais veículos, que servirão os vários clientes com o mínimo custo operacional e máxima satisfação do cliente (Brandão, 2011; Hosny, 2011; Wong, 2008).

O *VRP* é uma extensão do *MTSP*, acrescentando a restrição da capacidade máxima dos veículos utilizados e tendo como principal objetivo reduzir o custo total da deslocação efetuada.

A Tabela 3.1 apresenta as características principais dos quatro problemas de otimização abordados.

Tabela 3.1 – Características de quatro problemas de otimização (“Vehicle Routing and Scheduling,” 2000)

<i>Type</i>	<i>Demand</i>	<i>Arcs</i>	<i>No. of Depots</i>	<i>No. Of Vehicles</i>	<i>Vehicle Capacity</i>
<i>Traveling salesman problem (TSP)</i>	<i>At the nodes</i>	<i>Directed or undirected</i>	1	=1	<i>Unlimited</i>
<i>Multiple traveling salesman problem (MTSP)</i>	<i>At the nodes</i>	<i>Directed or undirected</i>	1	>1	<i>Unlimited</i>
<i>Vehicle routing problem (VRP)</i>	<i>At the nodes</i>	<i>Directed or undirected</i>	1	>1	<i>Limited</i>
<i>Chinese postman problem (CPP)</i>	<i>On the arcs</i>	<i>Directed or undirected</i>	1	≥1	<i>Limited or unlimited</i>

### **3.8 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA APLICAÇÃO NO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO DE PERCURSOS**

Existem áreas do ramo da matemática que fazem uso de modelos estatísticos e de algoritmos para ajudar aquando um processo de tomada de decisão, tipicamente com o objetivo de melhorar ou otimizar um dado processo ou serviço. A esta área dá-se o nome de pesquisa operacional, designando-se otimização combinatória, quando aplicada a problemas de otimização (Silva, 2009).

Em qualquer problema de otimização existe uma função objetivo e um conjunto de restrições que impõem quais serão as variáveis utilizadas. Desta forma, este tipo de problemas tem uma enorme complexidade devido ao número de variáveis e restrições que pode considerar. Por outro lado, depende também dos algoritmos implementados para a determinação dos circuitos.

Assim, quando existe um algoritmo para solucionar um problema, este é chamado de classe *P* ou “tratável”. Por outro lado e como já foi mencionado anteriormente, para a maioria dos problemas não se conhecem algoritmos capazes de obter a solução exata dos mesmos e, por isso, são designados do tipo *NP-Hard* ou “intratáveis” (Bodin et al., 1983; Lenstra & Rinnooy Kan, 1981).

As soluções para problemas de otimização classificam-se em métodos exatos, heurísticos e metaheurísticos (Oliveira, 2008; Silva, 2009) e vão ser abordadas nos seguintes tópicos.

#### **3.8.1 MÉTODOS EXATOS**

Os métodos exatos permitem encontrar a melhor solução para um dado problema, se esta existir. Esta solução deve satisfazer a função objetivo, respeitando todas as restrições do problema (Andrade et al., 2004).

É necessário ter consciência que uma solução ótima não existe, isto é, apenas é possível encontrar soluções aproximadas do ótimo. No entanto, um dado problema pode possuir ou não um algoritmo exato para sua resolução, podendo mesmo não ser possível encontrar esse algoritmo (Cormen et al., 2009).

Por vezes, um dado algoritmo pode levar décadas a encontrar uma solução desejada. Quando se verifica tal facto, diz-se que o mesmo é inviável para o caso em estudo (Andrade et al., 2004).

O algoritmo de *Dijkstra* desenvolvido por *Edsger Dijkstra* em 1956 e que constitui um método exato, seleciona o custo mínimo entre um dado vértice de um grafo e todos os outros desse mesmo grafo (Karadimas et al., 2007). Este algoritmo reduz a quantidade de tempo computacional e energia necessária para encontrar o percurso ideal (Karadimas et al., 2007). A eficiência do algoritmo determina-se através do conceito de caminho mais curto.

Segundo Karadimas et al. 2007, o algoritmo quebra a rede em nós e as linhas representam os vários caminhos entre cada nó.

De seguida é apresentado um exemplo de aplicação do algoritmo de *Dijkstra*.

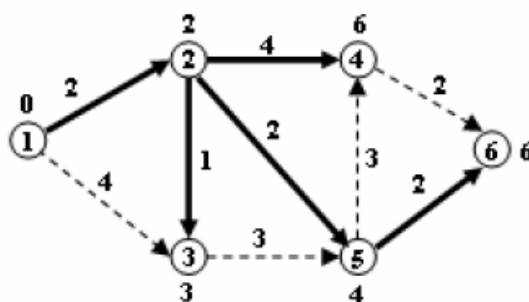


Figura 3.2 – Exemplo de aplicação do algoritmo de *Dijkstra* (Karadimas et al., 2007)

Na Figura 3.2 é apresentado um exemplo de aplicação do algoritmo de *Dijkstra*, num grafo constituído por seis nós e onde a cada linha está associado um determinado custo, representado pelo seu comprimento. O nó 1 é definido como sendo a origem; o caminho mais curto entre este e os outros nós é encontrado a partir dos antecessores desses nós (setas a negrito); o custo do caminho é anotado junto a cada nó. Cada nó é processado uma única vez, onde o processamento do nó 1 é feito em primeiro lugar por corresponder à origem. Desta forma, obtém-se um registo dos nós processados que se denomina *Queue* (Karadimas et al., 2007).

Segundo o mesmo autor, a seguinte etapa é perceber de que forma o custo de um dado trajeto pode ser melhorado, procedendo-se à atualização das várias distâncias com novos custos. A partir do nó de origem, o seguinte a ser processado corresponde ao nó que se encontra à distância e custo mínimos. A Tabela 3.2 regista os nós processados, com a respetiva distância, tal como foi descrito anteriormente.

Tabela 3.2 – Registo dos nós processados para o exemplo descrito (Karadimas et al., 2007)

Queue	Next node	Distance						Predecessors				
		1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
1	2	-	2	4	$\infty$	$\infty$	$\infty$					
1,2	3	-	-	3	6	4	$\infty$		2	2	2	
1,2,3	5	-	-	-	6	4	$\infty$					
1,2,3,5	4	-	-	-	6	-	6					5
1,2,3,5,4	6	-	-	-	-	-	6					
1,2,3,5,4,6	-	-	-	-	-	-	-					

A Tabela 3.3 apresenta os melhores trajetos encontrados que correspondem às menores distâncias, com base no Algoritmo de *Dijkstra*.

Tabela 3.3 – Melhores caminhos encontrados

Percurso	Troços percorridos	Comprimento (l)
1 a 2	1,2	2
1 a 3	1,2,3	3
1 a 4	1,2,4	6
1 a 5	1,2,5	4
1 a 6	1,2,5,6	6

### 3.8.2 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Os algoritmos exatos anteriormente abordados resolvem na maioria das vezes, os problemas de percursos de veículos. No entanto, a sua aplicação é ainda limitada, no sentido em que os métodos exatos caracterizam-se pela fraca flexibilidade dos seus modelos, dificultando a sua aplicação em casos reais (Reeves, 1993; Silva, 2009). Desta forma, alguns métodos heurísticos têm sido propostos.

Os algoritmos heurísticos, ou simplesmente heurísticas, pretendem encontrar soluções de boa qualidade num tempo computacional tolerável e caracterizam-se pela sua enorme flexibilidade. Por outro lado, o seu desempenho pode oscilar muito, acabando por constituir uma desvantagem para a sua aplicação (Oliveira, 2008).

A definição de heurísticas corresponde a uma técnica que pesquisa boas soluções, com custos acessíveis, mas que não garante soluções ótimas. Ao mesmo tempo, permitem atingir uma maior amplitude no que diz respeito à modelação do problema real, uma vez que, são mais flexíveis (Reeves, 1993). No entanto, os métodos heurísticos apresentam algumas limitações: não conseguem superar os locais ótimos, os seus métodos não apresentam uma base teórica e apesar da sua flexibilidade, o desempenho de cada método pode ter várias oscilações (Lysgaard, 1997; Oliveira, 2008).

Reeves (1993) apresenta alguns argumentos que provam que a solução do *VRP* pode ser modelada com maior precisão através dos métodos heurísticos, mais flexíveis e aptos para operar com funções objetivo e respetivas restrições associadas.

Por outro lado, a heurística de economias de Clarke & Wright (1964), tem sido bastante utilizada, mesmo no *VRP*. Este facto acontece, uma vez que, o método permite incluir várias restrições de tempo, de capacidade, com o objetivo de minimizar a distância percorrida (Clarke & Wright, 1964). Estas restrições dizem respeito a:

- Cada percurso ter origem e destino no mesmo depósito;
- Cada cliente pertencer apenas a um único percurso;
- Não ser possível exceder a capacidade do veículo;
- O tempo total do percurso não poder exceder a duração do tempo de trabalho do motorista.

Este algoritmo de *Clarke and Wright* baseia-se num processo iterativo que permite, com alguma rapidez, selecionar um percurso perto do ótimo, através de critérios de poupança que pressupõem o conhecimento do menor trajeto entre dois pontos (Oliveira, 2008).

### 3.8.3 MÉTODOS METAHEURÍSTICOS

Os métodos metaheurísticos ou métodos emergentes são métodos que utilizam dois ou mais procedimentos, pretendendo modificar e melhorar a solução final de um dado problema (Cunha, 1997).

A pesquisa tabu, proposta por *Glover* (Talbi, 2009) é um dos métodos metaheurísticos (Brandão, 2011) no qual, a partir de uma solução possível, o método tenta encontrar uma solução final melhor que a anterior (Silva, 2009).



A pesquisa tabu, através do uso da memória, utiliza o conceito de lista tabu, onde armazena todas as soluções estudadas (Brandão, 2011; Talbi, 2009). A um dado conjunto de soluções, a utilização flexível da memória permite repetir os movimentos de uma solução para outra solução vizinha, determinando alternativas qualificadas com proibidas ou atrativas.

A cada movimento realizado, está associado um determinado atributo (tabu), conhecido como tempo tabu. Estes movimentos deixam de ser proibidos desde que a solução satisfaça o critério desejado (Oliveira, 2008). Por outro lado, os atributos são selecionados de forma a evitar o regresso a soluções já visitadas e à existência de um ciclo na aplicação do algoritmo. A partir do momento em que um único atributo é proibido, várias soluções poderão tornar-se tabu. Desta forma, algumas dessas soluções não foram visitadas e podem ser de boa qualidade para a resolução do problema. No sistema são introduzidos critérios de aspiração, que cancelam o estado tabu de uma dada solução e que permitem que as melhores soluções sejam conhecidas como sendo as melhores entre as várias visitadas (Oliveira, 2008).

São vários os autores que propõem uma metaheurística pesquisa tabu para a resolução do problema de percursos de veículos, *VRP*.

Por um lado, Taillard (1993) desenvolveu o seu estudo sobre a pesquisa tabu como sendo esta um método iterativo para solucionar o *VRP*. O problema envolve um conjunto de veículos, cujo objetivo é determinar o percurso para cada veículo, onde a distância total percorrida é mínima, a necessidade em cada local de recolha é atendida e as restrições de capacidade e duração máxima de trabalho são respeitadas.

De outra forma, Barbarosoglu & Ozgur (1999) baseando-se na pesquisa de Taillard (1993), também desenvolveram uma pesquisa tabu para solucionar o *VRP*. Neste caso, o problema inclui um conjunto de veículos, onde existem restrições de capacidade dos veículos e de duração do tempo de trabalho, mas onde o procedimento sugerido pelos autores é diferente.

Por fim, também Kelly & Xu (1999) desenvolveram uma pesquisa tabu para solucionar o *VRP*, cujo objetivo é minimizar a distância total percorrida, satisfazendo por completo as necessidades dos clientes e não excedendo a capacidade dos veículos. Neste caso, são gerados diversos percursos através da utilização de uma dada heurística (etapa 1) e de seguida é aplicada uma heurística de melhoria baseada na pesquisa tabu e no fracionamento de conjuntos (etapa 2).

Da mesma forma são vários os autores que propõem uma metaheurística pesquisa tabu para a resolução do problema de percursos de veículos com janelas temporais, *VRPTW*.

Assim, Potvin et al., (1996), consideraram um depósito central, um conjunto de veículos e de clientes com respetivas características e cujo objetivo é atender todos os clientes com menos custos e diminuindo o conjunto de circuitos.

Por outro lado, Garcia et al., (1994) no desenvolvimento da sua metaheurística, tiveram como objetivo atender todos os clientes, com menos custos associados, respeitando restrições de capacidade e janelas de tempo (tempo total de viagem e tempo total de espera).

Torna-se necessário saber que o objetivo da metaheurística é, primeiramente, diminuir o número de veículos utilizados e, posteriormente, a distância percorrida que está associada ao tempo total e ao tempo de espera (Silva, 2009).

## 4 ANÁLISE DE REDES

O *ArcGIS for Desktop* (versão 10.1), comercializado pela *ESRI*, envolve várias versões, que são utilizadas com base nas necessidades pretendidas. O *ArcView*, *ArcEditor* e *ArcInfo* são 3 versões do *software*, atualmente designadas por *ArcGIS for Desktop Basic*, *Standard* e *Advanced*, respetivamente. Estas versões incluem algumas funcionalidades de capacidades de edição e geoprocessamento mais avançadas (ESRI, 2013c).

Por outro lado, o *ArcGIS* inclui várias aplicações que constituem um SIG. Destas aplicações, destacam-se fundamentalmente, o *ArcCatalog* e o *ArcMap*.

O *ArcCatalog* (Figura 4.1) fornece um explorador utilizado para organizar e gerir os vários tipos de dados, inclui ainda ferramentas para criar *shapefiles* de vários tipos, *geodatabases*, aceder a ferramentas de geoprocessamento, explorar, pesquisar informação e visualizar metadados (ESRI, 2013d).

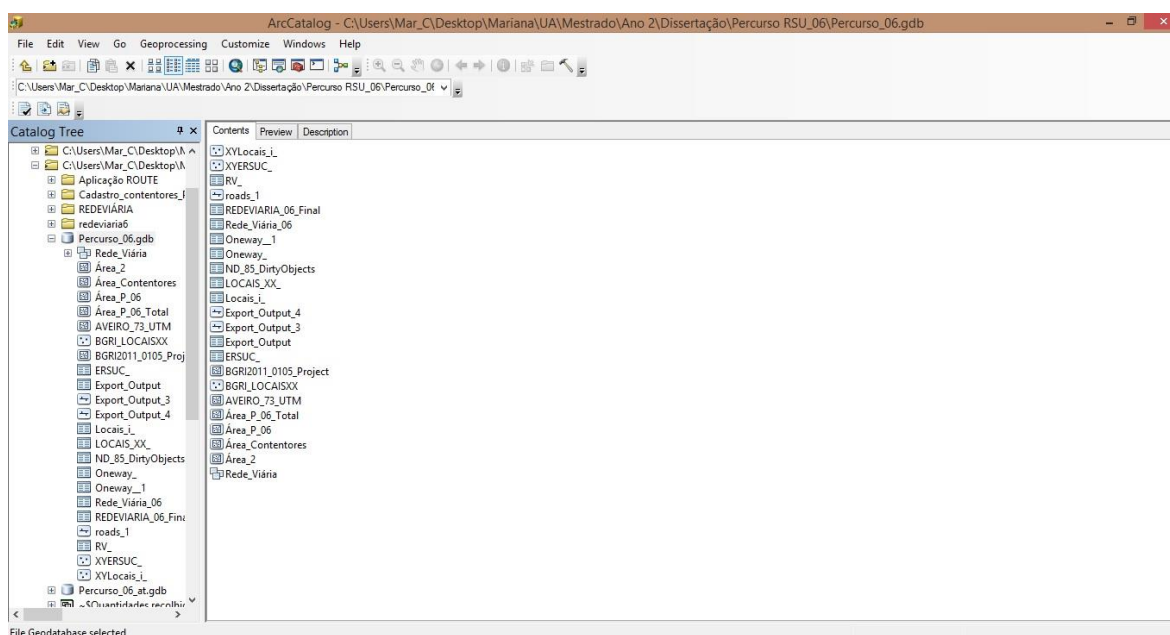


Figura 4.1 – Ambiente *ArcCatalog*

O *ArcMap* (Figura 4.2), sendo a principal aplicação do *ArcGIS*, é utilizada para apresentar, editar, criar e analisar dados; possui variadas ferramentas que permitem a geração de mapas e a edição de dados geográficos (ESRI, 2013d).

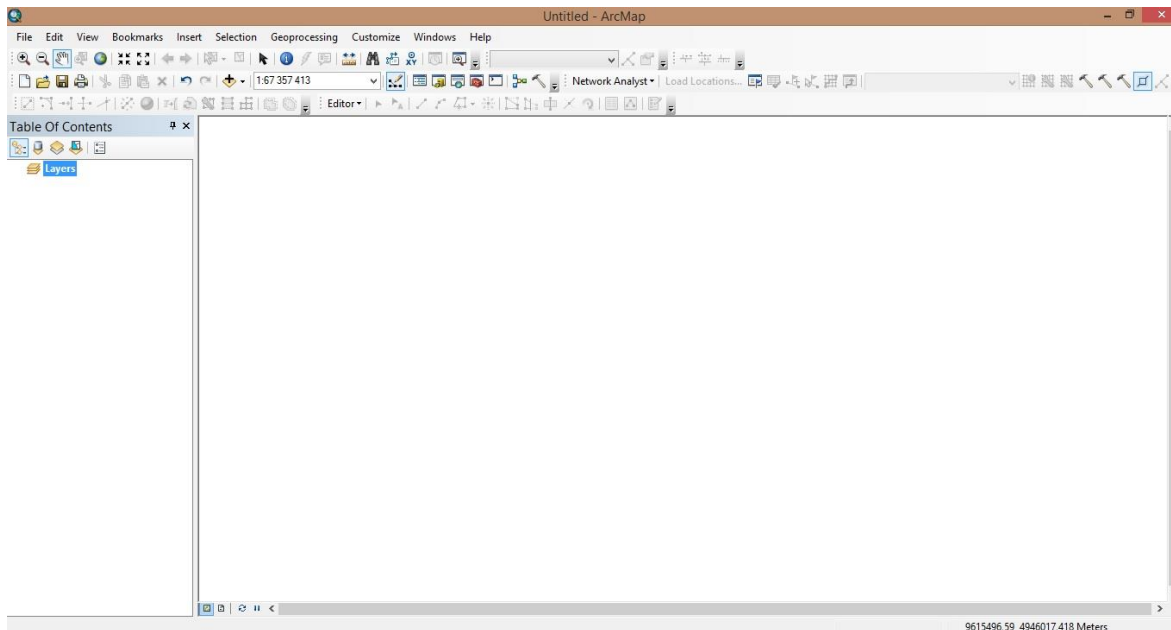


Figura 4.2 – Ambiente *ArcMap*

O *ArcToolbox* (Figura 4.3) envolve um conjunto de ferramentas utilizadas para converter dados, análise espacial e gerir sistemas de coordenadas (ESRI, 2013d).



Figura 4.3 – Ambiente *ArcToolbox*

O *Network Analyst* é uma extensão do *ArcGIS* que oferece capacidades avançadas para criar, analisar e gerir redes de transporte, envolvendo a definição de percursos e possibilitando encontrar facilidades e serviços da área em estudo (Karadimas et al.,

2008). Por outro lado, para alcançar o objetivo final, incorpora restrições como os limites de velocidade, a altura, as condições de tráfego, etc. O *ArcGIS Network Analyst* permite otimizar percursos, reduzindo custos de combustível, de laboração e tempo utilizado para o serviço a otimizar. Assim, através da utilização do algoritmo de *Dijkstra* e do método metaheurístico (ESRI, 2013a; Silva, 2009), este *software* identifica a melhor solução através da conjugação de todos os parâmetros (menor distância, menor custo, implicações ambientais e sociais).

O *Network Analyst* possui numerosas aplicações, tais como (ESRI, 2013d):

- Encontrar percursos eficientes, serviços e necessidades específicas de uma dada área;
- Aumentar a produtividade e a possibilidade de analisar dados;
- Otimizar percursos, reduzindo custos e tempo;
- Alocar áreas de serviço para estabelecer responsabilidade ou cobertura nessa mesma área.

Por outro lado, possui também características fundamentais que influenciam a sua aplicação nas diferentes áreas, tais como (ESRI, 2013d):

- A sensibilidade ao tempo e às direções;
- Tem em conta as condições da via, os limites de velocidade e o tráfego;
- Permite a criação de rotas/circuitos ou auxiliar percursos já existentes, incorporando restrições e condicionantes específicas;
- Permite a definição de polígonos como área preferencial de atuação;
- Determina matrizes de custo entre a origem e o destino final, com o objetivo de otimizar o serviço prestado, reduzindo custos e distâncias;
- Permite a definição de atributos de acordo com as necessidades e a modificação desses mesmos atributos, permitindo a definição dos vários cenários.

O *ArcMap* serve de suporte ao *Network Analyst*, permitindo editar dados geográficos (coordenadas) e tabulares (atributos). A informação geográfica utilizada encontra-se dividida em dois tipos: geometria (representação da realidade física) e atributos (características associadas a essa realidade física).

O *ArcGIS* permite armazenar a informação cartográfica que representa a realidade física através de pontos, linhas ou polígonos. Desta forma, surgem as *feature class* (classes de elementos) que permitem agrupar os elementos semelhantes, designando-se o conjunto destas de *feature dataset*. Por outro lado, a informação em ambiente SIG encontra-se agrupada em *layers* (ESRI, 2013d).

#### 4.1 REDE VIÁRIA

Como já foi mencionado anteriormente, uma rede representa a ligação (arcos) entre os vários locais (nós ou vértices). Para o caso específico da rede viária, os arruamentos correspondem aos arcos e os cruzamentos/entroncamentos aos nós da rede.

A principal estrutura de dados para aplicação na análise de redes é a rede viária. Desta forma, é necessário caracterizá-la de acordo com um conjunto de atributos (especificações da rede viária) que depende dos objetivos do trabalho. Para além da informação geográfica de base (*feature class polyline*) a rede viária é composta por um conjunto de especificações relacionadas com as especificações de circulação e por informação variada, permitindo administrar atividades de interesse local, como por exemplo a recolha de resíduos urbanos, que a seguir se discrimina.

##### 4.1.1 ATRIBUTOS DA REDE VIÁRIA

Na Tabela 4.1 são apresentadas algumas especificidades da rede viária.

Tabela 4.1 – Exemplos de especificidades da rede viária

Atributo	Descrição
Sentido de trânsito	Direção possível de seguir, prioridade na via
Estado do piso	Estado do piso pode ajudar a estimar a velocidade a que o veículo pode circular
Presença de semáforos	Variável importante na gestão do tráfego
Impedância	Resistência que a via oferece à passagem dos veículos
Velocidade e comprimento do troço	Fornece o tempo que leva a percorrer esse troço
Restrições físicas	Altura, largura e peso podem limitar o acesso a alguns veículos
Interseções	Pontes, viadutos, rotundas, entroncamentos, cruzamentos, passagens de nível
Congestionamento	Depende da hora, podendo levar a perdas de tempo e gastos de combustível
Declive	Em vias de dois sentidos, torna-se mais económico efetuar a recolha no sentido descendente
Largura da via	Variável importante porque pode limitar o acesso a alguns veículos

Existem muitas especificidades que dizem respeito à rede viária, na medida em que, condicionam a fluidez do trânsito, podem limitar a passagem de alguns veículos e a velocidade a que circulam, levando a que o tempo, a distância e o custo associado à viagem, varie. Desta forma, é fundamental que estas especificações estejam atribuídas corretamente para permitir a otimização dos vários percursos.

#### 4.1.2 ESPECIFICAÇÕES NECESSÁRIAS DA NETWORK DATASET

O *Network Analyst* necessita em primeiro lugar da criação de uma estrutura de rede denominada *Network Dataset*. Esta é criada em ambiente *ArcCatalog* com base na rede viária e é constituída por linhas, junções e viragens (ESRI, 2013a). As linhas (*feature class* de linhas) estão conetadas às junções e funcionam como *links* sobre os quais se viaja; as junções (*feature class* de pontos) ligam as linhas, facilitando a navegação de uma ponta à outra; por fim, as viragens (*feature class* de viragens) são elementos opcionais que armazenam informação que pode afetar o movimento entre as várias linhas (ESRI, 2013a). As linhas, junções e viragens são elementos da rede que constituem a *Network Dataset* e que auxiliam o estabelecer da ligação e o controlo da navegação na rede (ESRI, 2013a). Poderia pensar-se que uma *Network Dataset* não era necessária quando se possui uma *feature class* de linhas. No entanto, uma *feature class* de linhas não sabe que conexões existem, enquanto que uma *Network Dataset*, sendo uma rede, reconhece a conectividade entre os vários pontos (ESRI, 2013a).

Para o nosso caso específico, a *Network Dataset* sendo formulada a partir da rede viária, é definida entre *feature class* do tipo linha e onde a conectividade é garantida por coincidência geométrica, nas junções. Numa *feature class* do tipo linha a conectividade é definida nas extremidades ou em qualquer vértice de cada arco, desde que haja coincidência, como está demonstrado nas Figura 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6.

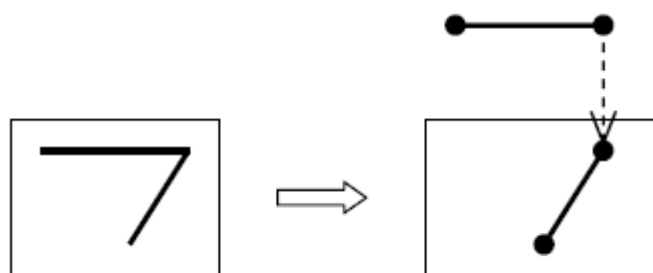


Figura 4.4 – Conetividade da rede viária (Caso 1: extremidades) (Silva, 2009)

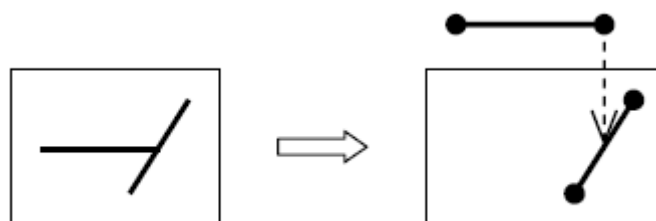


Figura 4.5 – Conetividade da rede viária (Caso 2: extremidade/ao longo da linha) (Silva, 2009)

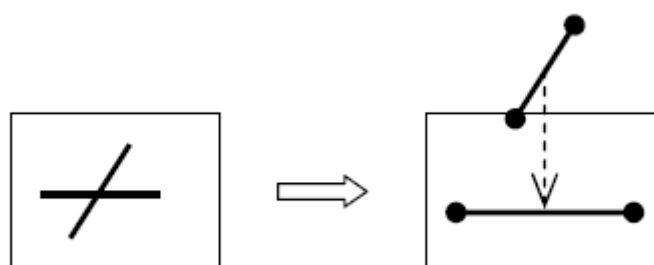


Figura 4.6 – Conetividade da rede viária (Caso 3: cruzamento) (Silva, 2009)

O cruzamento de dois arcos não significa que haja conectividade entre eles; esta propriedade apenas pode ser definida nas extremidades dos arcos (Figura 4.7) (ESRI, 2013a).

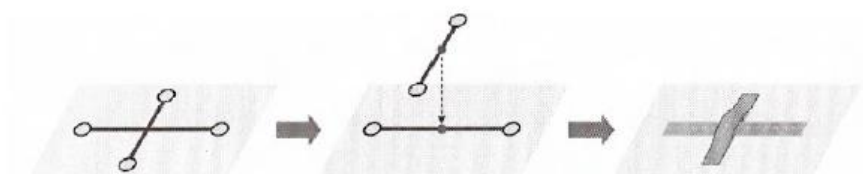


Figura 4.7 – Conetividade da rede viária apenas nas extremidades das linhas (Silva, 2009)

Por outro lado, se a conectividade for definida por qualquer vértice, duas linhas podem ligar-se em qualquer vértice desde que exista coincidência a nível espacial (Figura 4.8) (ESRI, 2013a).



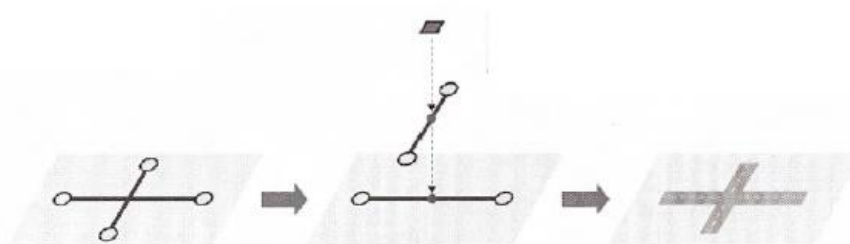


Figura 4.8 – Conectividade da rede viária em todos os vértices das linhas (Silva, 2009)

A Figura 4.9 apresenta os erros mais comuns cometidos aquando do estabelecimento da conectividade da rede viária, devido à inexistência de vértices comuns (ESRI, 2013a).

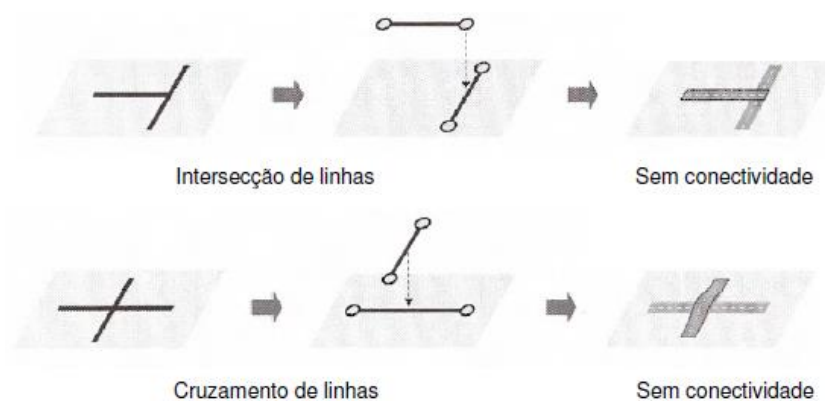


Figura 4.9 – Erros comuns no estabelecimento da conectividade da rede viária (Silva, 2009)

Por outro lado, na criação da *Network Dataset* é possível recorrer a atributos de elevação, para fazer corresponder por exemplo a viadutos, pontes e túneis (Figura 4.10) (ESRI, 2013a).

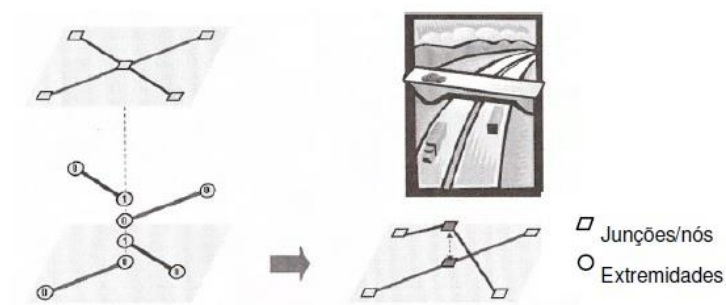


Figura 4.10 – Atributos de elevação, interseção a níveis diferentes (Silva, 2009)

#### 4.1.3 ESPECIFICAÇÕES DAS NETWORK LOCATIONS (LOCALIZAÇÕES NA REDE)

Outros objetos específicos da análise de rede denominam-se as *Network Locations*, que podem incluir paragens, barreiras, destinos, locais de recolha e depósitos e que são utilizados como dados de entrada. Estes pontos estão posicionados sobre ou junto à rede e possuem quatro atributos obrigatórios (Tabela 4.2). Após a marcação destes pontos, o *Network Analyst* assume esses atributos de forma automática (ESRI, 2013a).

Tabela 4.2 – Atributos das *Network Locations* (ESRI, 2013a)

Atributo	Descrição
<i>SourceID</i>	Identificador numérico característico do local onde o ponto está localizado
<i>SourceOID</i>	Identificador numérico
<i>PosAlong</i>	Posição ao longo da direção digitalizada da linha característica
<i>SideOfEdge</i>	Lado da linha em relação à direção digitalizada da linha característica

Uma *Network Location* apenas é válida na rede se a sua geometria estiver dentro da tolerância das linhas que constituem a *Network Dataset* (ESRI, 2013a). A tolerância definida pelo *software* é de 5000 metros, no entanto esta pode ser alterada.

Para introduzir as *Network Locations*, o *Network Analyst* proporciona três formas: criando as localizações de forma iterativa (ferramenta *Create Network Locations*), carregando as localizações a partir de uma tabela de dados (*Feature Class* de pontos) ou de endereços conhecidos (*Geocode*) (ESRI, 2013a). Após a introdução das *Network Locations*, é necessário caracterizá-las recorrendo a um conjunto de atributos. No caso prático apresentado neste trabalho, à base de dados que continha as *Network Locations* foi necessário criar e preencher os diferentes campos com os atributos pretendidos. Para o caso específico da recolha de resíduos são exemplos de atributos o número de contentores por local de recolha, respetiva capacidade e quantidades a recolher (Silva, 2009).

A aproximação da viatura de recolha às várias localizações na rede especifica o lado do veículo que se aproxima do ponto. O *Network Analyst* regista três opções de aproximação (ESRI, 2013a):

- Lado direito do veículo: a *Network Location* irá aparecer do lado direito quando a viatura se aproximar (Figura 4.11);

- Lado esquerdo do veículo: a *Network Location* irá aparecer do lado esquerdo quando a viatura se aproximar (Figura 4.12);
- Ambos os lados do veículo: a direção da aproximação não aparece especificada (Figura 4.13).

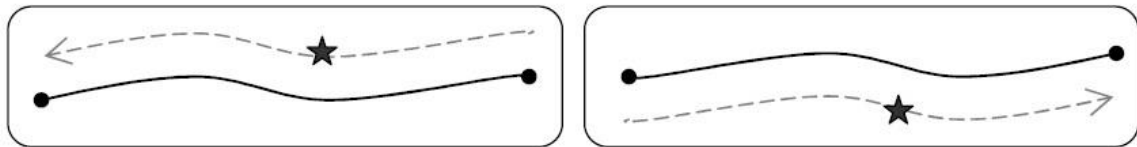


Figura 4.11 – Aproximação do veículo ao ponto: lado direito do veículo (Silva, 2009)

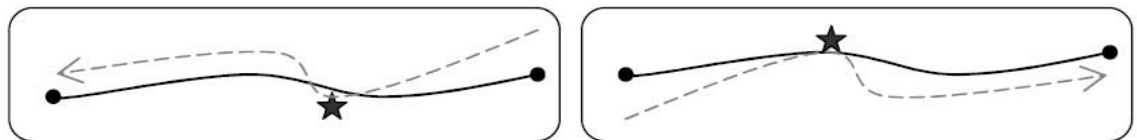


Figura 4.12 – Aproximação do veículo ao ponto: lado esquerdo do veículo (Silva, 2009)

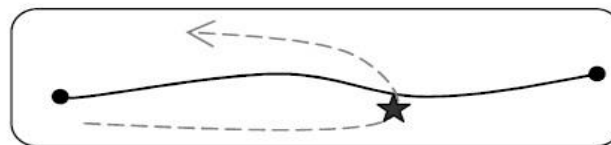


Figura 4.13 – Aproximação do veículo ao ponto: ambos os lados do veículo (Silva, 2009)

É ainda possível definir propriedades temporais nas *Network Locations*. Por exemplo, as janelas de tempo definem o intervalo de tempo dispendido na visita a cada ponto. Assim, o *TimeWindowStart* e *TimeWindowEnd* são duas propriedades das janelas temporais que definem esse mesmo intervalo de tempo.

O *software*, fornece como dados de saída o tempo de chegada e partida, o tempo dispendido e o tempo acumulado do percurso numa dada localização e, se for o caso, o tempo excedido, o tempo de espera e o tempo de espera acumulado (Silva, 2009).

## 4.2 FUNCIONALIDADES DO *NETWORK ANALYST*

O *Network Analyst* possui variadas funcionalidades (*Route*, *Service Area*, *Closest Facility*, *OD Cost Matrix*, *Vehicle Routing Problem*, *Location-Allocation*) associadas à otimização de percursos ou, simplesmente, à localização de pontos/locais estratégicos pretendidos (Figura 4.14). A utilização destas aplicações pressupõe a existência prévia da *Network Dataset* e respetiva validação da rede viária. Por outro lado, em cada uma das utilizações, são introduzidos os locais a visitar (*Network Locations*), carregados manualmente ou a partir de uma *feature class* ou *geocode*.

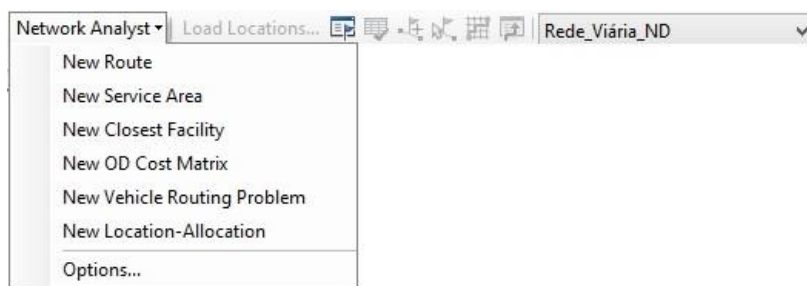


Figura 4.14 – Funcionalidades do Network Analyst

### 4.2.1 FUNCIONALIDADE *ROUTE*

A funcionalidade *Route* é utilizada para determinar o melhor percurso entre dois ou mais pontos. No entanto, o percurso definido irá depender da impedância/característica que se pretende otimizar. Sendo assim, um dado percurso pode ser melhorado com base no trajeto mais rápido, mais curto, que acarrete menores custos ou dependendo do dia e hora a que é realizado.

Esta aplicação apenas permite uma solução otimizada com base apenas num único atributo (Figura 4.15) (ESRI, 2013a).

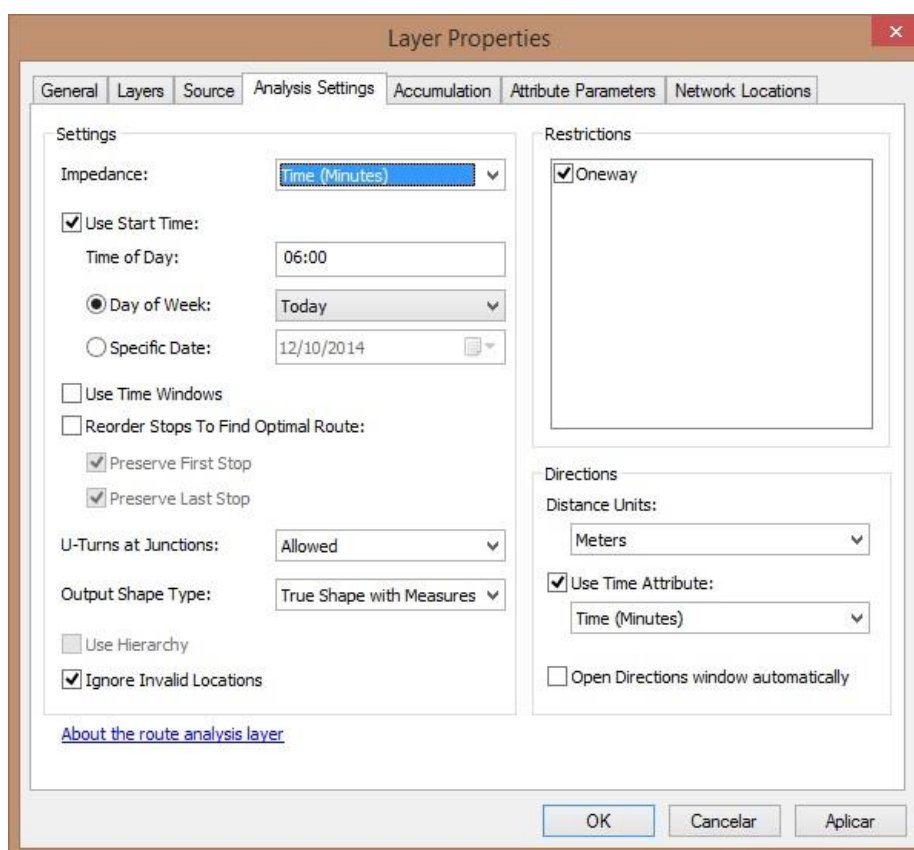


Figura 4.15 – Propriedades da *layer* da aplicação *Route*

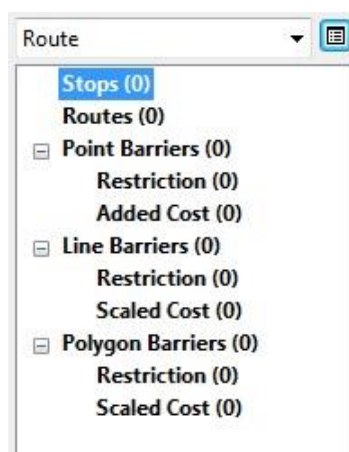


Figura 4.16 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação *Route*

Através da Figura 4.15 é possível observar que nesta aplicação pode optar-se pela otimização através das impedâncias distância ou tempo. Por outro lado, é possível definir um horário de início do percurso, bem como um dia específico.

No que diz respeito ao estabelecimento do melhor percurso para visitar vários pontos, esta aplicação encontra a melhor sequência, semelhante ao problema do caixeiro-viajante abordado anteriormente, que procura visitar todos os pontos, percorrendo a menor distância possível.

Através da Figura 4.16 é possível observar as várias classes de análise aquando da utilização da aplicação *Route*. Na Tabela 4.3 é apresentada uma pequena descrição de cada uma dessas classes.

Tabela 4.3 – Classes de análise da aplicação *Route*

Classe de análise	Descrição
<i>Stops</i>	Classe que armazena os locais que são paragem na rede
<i>Routes</i>	Classe que armazena o(s) percurso(s) resultante(s)
<i>Point/line/polygon barriers</i>	Barreiras servem para restringir temporariamente uma dada condição ou para a adição de uma impedância

#### 4.2.2 FUNCIONALIDADE SERVICE AREA

A funcionalidade *Service Area* permite encontrar as áreas de influência que servem um dado local. Esta área de influência diz respeito a uma região que engloba todas as estradas em volta de uma *Network Location*, dentro de um dado limite imposto por um valor de impedância considerado (Figura 4.17) (ESRI, 2013a).

Estas áreas de serviço permitem avaliar o conceito de acessibilidade a um dado local, que não era possível ser feito traçando apenas um círculo (*buffer*). Assim, utilizando esta aplicação, alcançar-se-á uma solução que permite obter as várias direções pretendidas, a partir da ou até à *Network Location*.

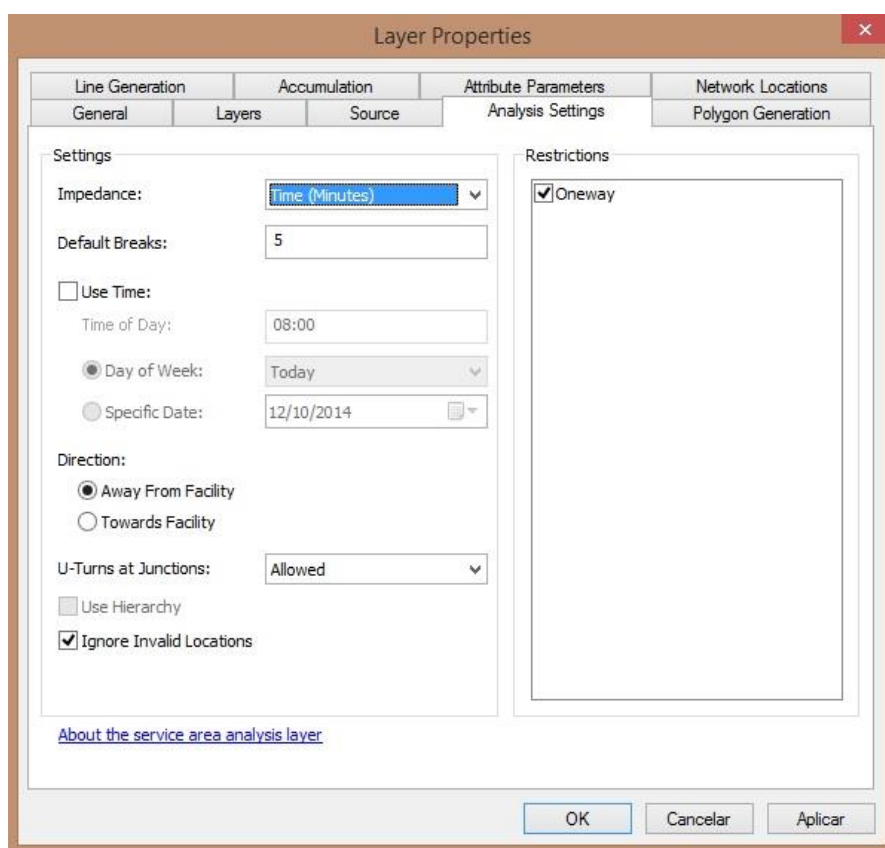


Figura 4.17 – Propriedades da *layer* da aplicação *Service Area*

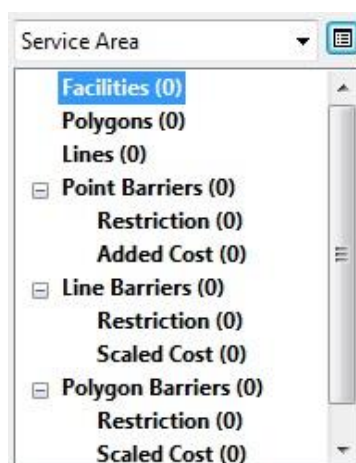


Figura 4.18 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação *Service Area*

Através da Figura 4.17 é possível observar quais as características possíveis de seleccionar para encontrar essas áreas de serviço, como por exemplo, a impedância (distância ou tempo).

Através da Figura 4.18 observam-se as várias classes de análise aquando da utilização da aplicação *Service Area*. Na Tabela 4.4 é apresentada uma pequena descrição de cada uma dessas classes.

Tabela 4.4 – Classes de análise da aplicação *Service Area*

Classe de análise	Descrição
<i>Facilities</i>	Classe que armazena os locais da rede utilizados como instalações de análise das áreas de serviço
<i>Polygons</i>	Classe que armazena os polígonos resultantes da área de serviço
<i>Lines</i>	Classe que armazena as áreas de serviço resultantes como sendo elementos lineares, representando os limites da rede que podem ser alcançados após o estipular de uma dada impedância
<i>Point/line/polygon barriers</i>	Barreiras servem para restringir temporariamente uma dada condição ou para a adição de uma impedância

#### 4.2.3 FUNCIONALIDADE CLOSEST FACILITY

A funcionalidade *Closest Facility* permite encontrar uma dada instalação que fica mais próxima de um dado local. Estas instalações envolvem por exemplo, o hospital mais próximo, a esquadra/carro da polícia... Assim, esta aplicação fornece o melhor percurso para essa instalação pretendida (Figura 4.19) (ESRI, 2013a).

A *Closest Facility* tem enorme aplicação quando ocorre um acidente, fornecendo os hospitais mais próximos e o melhor percurso para chegar a cada um.



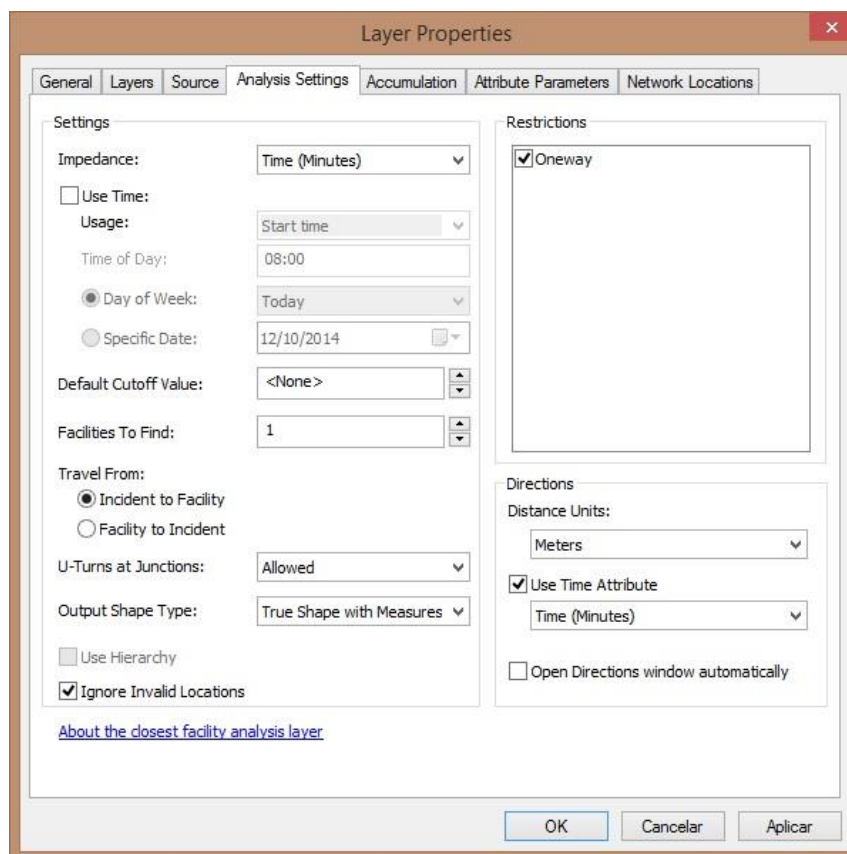


Figura 4.19 – Propriedades da *layer* da aplicação *Closest Facility*

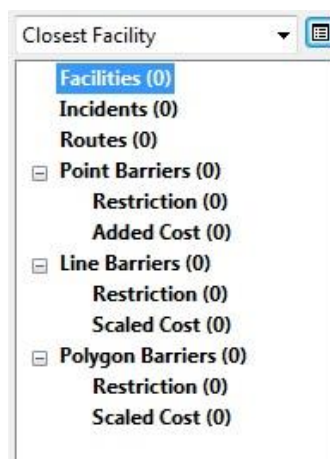


Figura 4.20 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação *Closest Facility*

Através da Figura 4.19 é possível observar que nesta aplicação encontram-se os locais pretendidos, com base na impedância distância ou tempo. Por outro lado, permite escolher a direção da viagem: incidente-facilidade ou facilidade-incidente.

Através da Figura 4.20 é possível observar as várias classes de análise aquando da utilização da aplicação *Closest Facility*. Na Tabela 4.5 é apresentada uma pequena descrição de cada uma dessas classes.

Tabela 4.5 – Classes de análise da aplicação *Closest Facility*

Classe de análise	Descrição
<i>Facilities</i>	Classe que armazena os locais da rede utilizados como ponto de partida ou pontos que terminam em locais mais próximos da facilidade analisada
<i>Incidents</i>	Classe que armazena os locais da rede que começam ou terminam em pontos mais próximos da facilidade analisada
<i>Routes</i>	Classe que armazena o(s) percurso(s) resultante(s)
<i>Point/line/polygon barriers</i>	Barreiras servem para restringir temporariamente uma dada condição ou para a adição de uma impedância

#### 4.2.4 FUNCIONALIDADE OD COST MATRIX

A funcionalidade *OD Cost Matrix* tem como objetivo criar matrizes de custo origem-destino (OD) de múltiplas origens até múltiplos destinos (Figura 4.21). Este tipo de matriz consiste numa tabela que contém a impedância da rede contida entre cada par OD pretendido. A solução obtida é apresentada por ordem crescente, obtendo-se assim o melhor percurso para cada OD e onde o custo é armazenado numa tabela de atributos (ESRI, 2013a).

Esta aplicação é muito semelhante à aplicação *Closest Facility*, no entanto, há diferenças no que diz respeito à visualização dos resultados e à velocidade de cálculo, uma vez que, a *OD Cost Matrix* foi concebida para um vasto número de problemas.

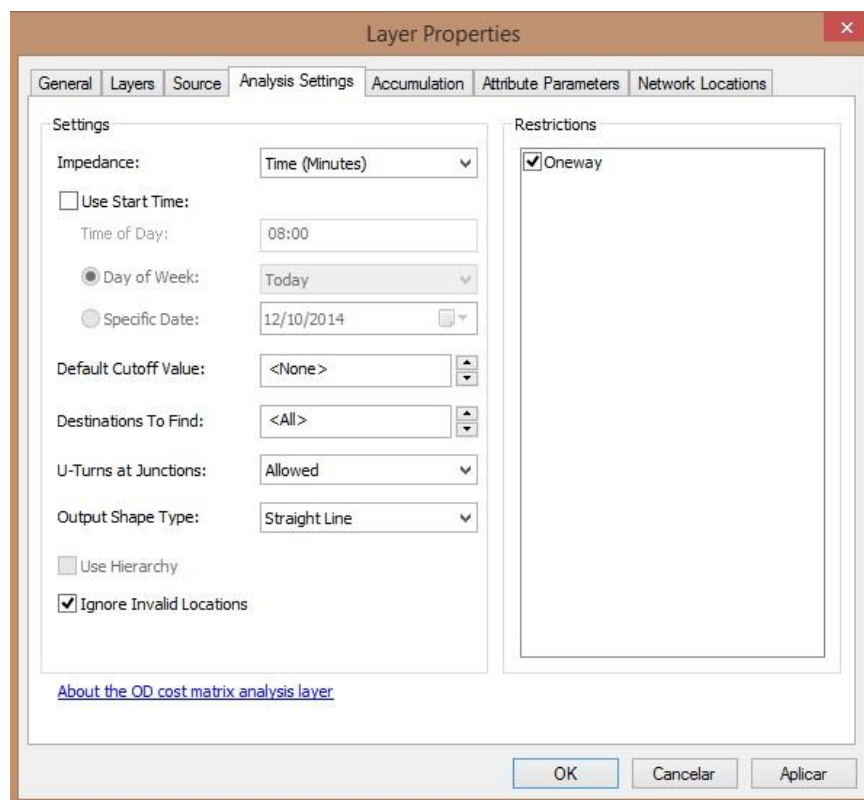


Figura 4.21 – Propriedades da *layer* da aplicação *OD Cost Matrix*

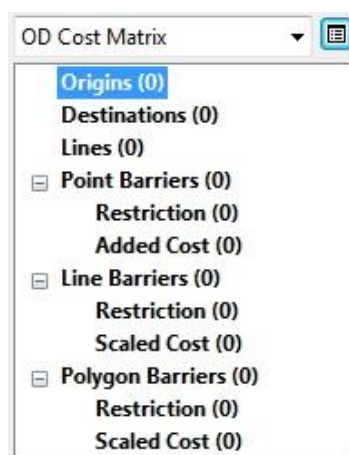


Figura 4.22 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação *OD Cost Matrix*

Através da Figura 4.21 é possível observar que nesta aplicação são criadas matrizes de custo OD, com base na impedância seleccionada. Por outro lado, é possível limitar o número de destinos para cada origem requerida.

Através da Figura 4.22 é possível observar as várias classes de análise aquando da utilização da aplicação *OD Cost Matrix*. Na Tabela 4.6 é apresentada uma pequena descrição de cada uma dessas classes.

Tabela 4.6 – Classes de análise da aplicação *OD Cost Matrix*

Classe de análise	Descrição
<i>Origins</i>	Classe que armazena os locais da rede que funcionam como ponto de partida para gerar os percursos para os destinos pretendidos
<i>Destinations</i>	Classe que armazena os locais da rede que funcionam como ponto de chegada após gerar um percurso a partir da origem
<i>Lines</i>	Classe que armazena informações sobre o(s) percurso(s) traçado(s) desde a(s) origem(s) até ao(s) destino(s) pretendido(s)
<i>Point/line/polygon barriers</i>	Barreiras servem para restringir temporariamente uma dada condição ou para a adição de uma impedância

#### 4.2.5 FUNCIONALIDADE VEHICLE ROUTING PROBLEM

Como já foi mencionado no tópico 5 do capítulo 3, o *VRP* é um problema de otimização de percursos que pode ser aplicado à operação de recolha de RU. Esta aplicação do *Network Analyst* considera um exemplo com vários veículos, acrescentando a restrição da capacidade máxima dos veículos (Figura 4.23). O principal objetivo desta aplicação é realizar o serviço pretendido, minimizando o custo operacional.

Enquanto a aplicação *Route*, mencionada em 4.2.1, encontra o melhor percurso para um dado veículo, o *VRP* encontra vários trajetos para vários veículos que têm que visitar muitos pontos (ESRI, 2013a). Por outro lado, procura soluções para problemas mais específicos, possibilitando a combinação das capacidades do veículo, as quantidades a recolher, as pausas/tempos de descanso, os horários de trabalho dos motoristas...

A solução final *VRP* fornece um serviço de elevada qualidade, respeitando janelas temporais e mantendo os custos do percurso tão baixos quanto possível. O incorporar de restrições (capacidade do veículo, tempos e horas de trabalho, velocidades...) leva à representação mais rigorosa do problema (ESRI, 2013a).

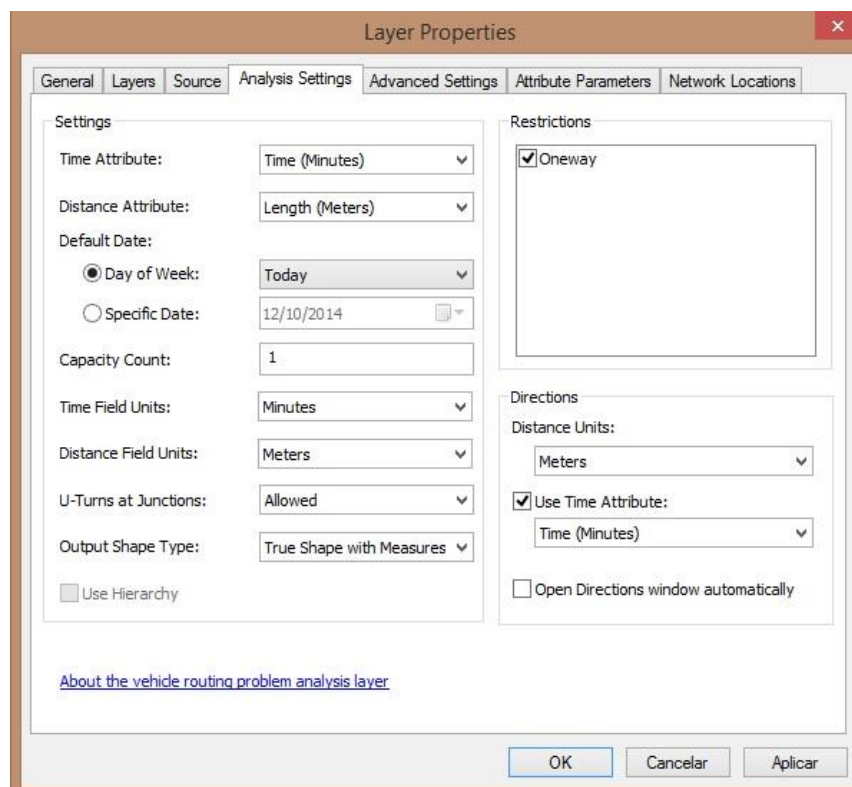


Figura 4.23 – Propriedades da *layer* da aplicação *VRP*

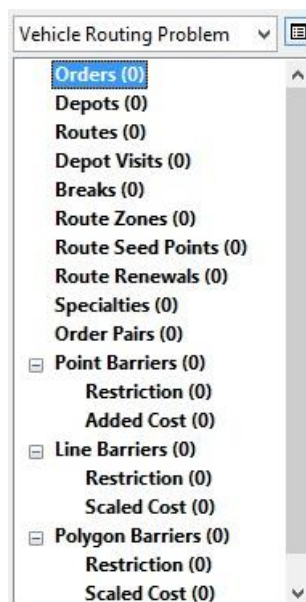


Figura 4.24 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação *VRP*

Através da Figura 4.23 é possível observar que nesta aplicação encontra-se o melhor percurso para percorrer os locais pretendidos, com base na impedância distância e

tempo. Por outro lado, é possível definir as capacidades de carga e as datas específicas de realização do serviço.

Através da Figura 4.24 é possível observar os objetos de análise da rede que estão disponíveis na tabela de conteúdos aquando da utilização do *VRP*. Na Tabela 4.7 é apresentada uma pequena descrição de cada um desses objetos.

Tabela 4.7 – Classes de análise da aplicação *VRP*

<b>Classe de análise</b>	<b>Descrição</b>
<i>Orders</i>	Classe que armazena as localizações da rede a percorrer; exemplo: locais de recolha de resíduos
<i>Depots</i>	Classe que armazena os pontos inicial e final do percurso e os pontos de paragem intermédios para descarga do veículo
<i>Routes</i>	Classe que armazena o(s) percurso(s) resultante(s)
<i>Depot Visits</i>	Classe na qual constam as localizações inicial e final de cada percurso e paragens intermédias e suas respetivas características
<i>Breaks</i>	Classe que armazena os intervalos no cálculo do percurso; exemplo: pausas de trabalho
<i>Route Zones</i>	Classe que armazena polígonos criados com o objetivo de criar zonas preferenciais a atribuir a cada percurso
<i>Route Seed Points</i>	Classe, semelhante ao <i>Route Zones</i> , que permite definir uma área de recolha preferencial junto a um dado ponto de relevância
<i>Route Renewals</i>	Classe que armazena o ponto de descarga, por exemplo, se a capacidade do veículo for excedida
<i>Specialties</i>	Classe que armazena características especiais dos veículos utilizados, exigindo formação adequada aos condutores e definição dos percursos com base nessas mesmas características; exemplo: veículos blindados, com arcas de refrigeração...
<i>Order Pairs</i>	Dado de entrada do <i>software</i> , utilizado quando a recolha e distribuição necessitam de estar emparelhadas
<i>Barriers</i>	Classe que armazena locais onde não é possível a circulação; exemplo: corte de uma estrada, ocorrência de um acidente...

#### 4.2.6 FUNCIONALIDADE LOCATION-ALLOCATION

A localização é talvez um dos fatores mais importantes que leva ao sucesso de uma organização, uma vez que, pode ajudar a manter os custos fixos e as despesas gerais mais baixas (ESRI, 2013a).

Esta aplicação *location-allocation* tem como objetivo localizar uma dada instalação de uma forma que os pontos de procura são fornecidos de forma eficiente. Como a expressão sugere, localização-alocação é um duplo problema que localiza e aloca instalações. Esta diferenciação entre localização e alocação é importante, dado que o melhor local não é o mesmo para todo o tipo de instalações. Sendo assim, os problemas de localização-alocação variam de acordo com o tipo de instalação utilizada (ESRI, 2013a).

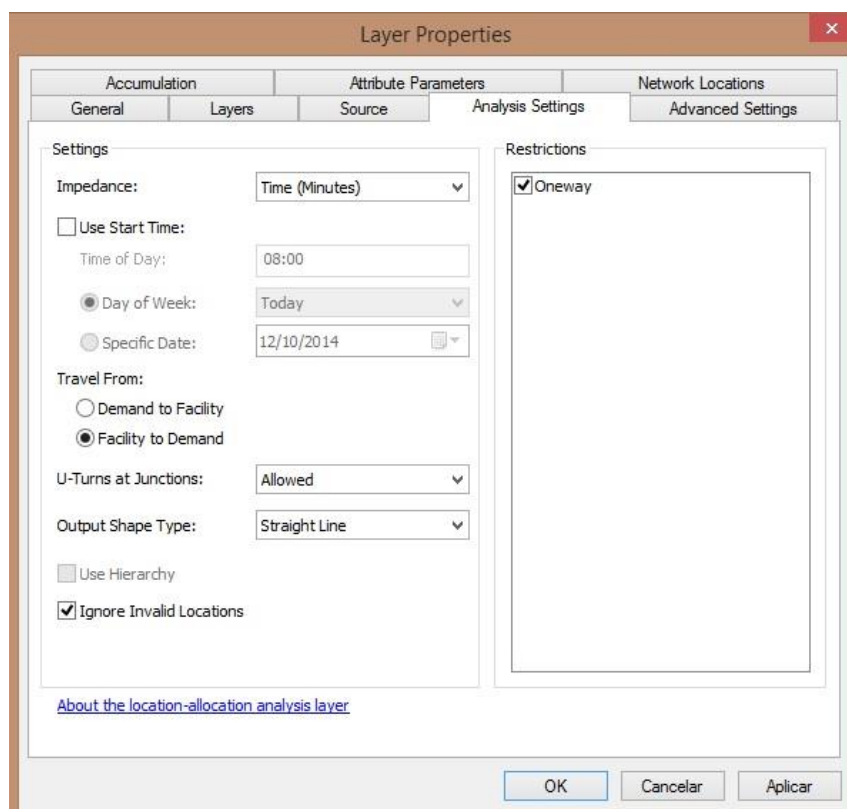


Figura 4.25 – Propriedades da *layer* da aplicação *Location-Allocation*

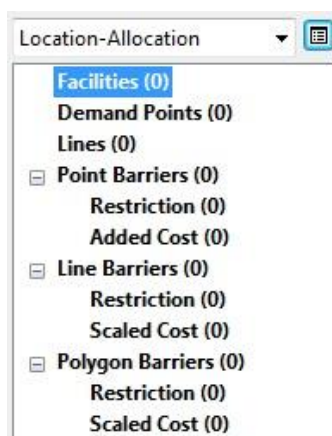


Figura 4.26 – Informação que consta na tabela de conteúdos da aplicação *Location-Allocation*

A partir da Figura 4.25 é possível observar que esta aplicação encontra a dada instalação pretendida com base na impedância distância ou tempo e podendo definir outras restrições do problema.

Através da Figura 4.26 é possível observar as várias classes de análise aquando da utilização da aplicação *Location-Allocation*. Na Tabela 4.8 é apresentada uma pequena descrição de cada uma dessas classes.

Tabela 4.8 – Classes de análise da aplicação *Location-Allocation*

Classe de análise	Descrição
<i>Facilities</i>	Classe que representa um local requerido ou candidato para uma dada instalação
<i>Demand Points</i>	Classe que armazena pontos de procura para certas instalações, com base nas necessidades específicas de um dado local
<i>Lines</i>	Classe composta por dados de saída, que armazena o(s) percurso(s) gerado(s)
<i>Point/line/polygon barriers</i>	Barreiras servem para restringir temporariamente uma dada condição ou para a adição de uma impedância



### 4.3 MÉTODOS DE CÁLCULO ASSOCIADOS ÀS FUNCIONALIDADES DO *NETWORK ANALYST*

O estudo efetuado no tópico anterior permitiu-nos conhecer a diversidade de problemas que a otimização de percursos pode envolver e cuja resolução poderá requerer métodos/algoritmos específicos.

Para o caso específico do *Network Analyst*, os algoritmos utilizados, dependendo do problema em causa, são: o Algoritmo de *Dijkstra* (algoritmo exato) e a Pesquisa Tabu (algoritmo metaheurístico).

As aplicações *Closest Facility*, *OD Cost Matrix* e *Service Area* baseiam-se no algoritmo de *Dijkstra*, que foi alterado para respeitar restrições que se prendem com o sentido das vias, proibições, barreiras, etc. (ESRI, 2013a; Silva, 2009), reconhecendo o caminho mais curto ou o caminho mais rápido. O caminho mais curto demora mais tempo a ser encontrado, uma vez que, todas as vias da rede são tidas em conta. No entanto, como o *software* tenta otimizar um percurso por vias principais, esta duração tende a diminuir (Silva, 2009). Pela utilização deste algoritmo espera-se encontrar uma solução de boa qualidade com um rápido desempenho.

No caso da funcionalidade *Route*, esta tem como objetivo encontrar o melhor percurso entre dois pontos ou entre um conjunto de pontos. Quando são mais do que dois pontos, a solução permite (Silva, 2009):

1. Encontrar o melhor percurso para percorrer vários pontos, segundo uma ordem já conhecida;
2. Encontrar o melhor percurso e a melhor sequência para percorrer esses pontos.

No primeiro caso o *Route* utiliza o algoritmo de *Dijkstra*, enquanto que o segundo caso corresponde ao PCV, que encontra soluções de boa qualidade utilizando o mínimo tempo possível (ESRI, 2013a).

O PCV, também baseado no algoritmo de *Dijkstra*, gera primeiramente, uma *OD Cost Matrix* entre os vários pontos que são percorridos. Depois, a Pesquisa Tabu auxilia no encontrar da melhor sequência de visita desses pontos (ESRI, 2013a).

Por fim, na aplicação do *VRP*, sendo este um conjunto de vários PCV, envolve restrições de tempo e da capacidade do veículo. Em primeiro lugar, a função *VRP* gera uma matriz de custo OD, baseada no algoritmo de *Dijkstra*. Utilizando esta matriz de custos e

recorrendo à pesquisa Tabu, é construída uma primeira solução que é melhorada ao longo do tempo, alterando os pontos de visita (ESRI, 2013a).

## 5 CASO DE ESTUDO: RECOLHA DE RESÍDUOS URBANOS INDIFERENCIADOS NO MUNICÍPIO DE AVEIRO (PERCURSO RSU I 06)

O presente capítulo apresenta a aplicação do *ArcGIS Network Analyst* versão 10.1 no estudo de otimização da recolha de resíduos urbanos indiferenciados no município de Aveiro (Percorso RSU I 06).

### 5.1 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O caso prático que foi objeto deste estudo diz respeito ao percurso RSU I 06, pertencente ao sistema de recolha de resíduos urbanos indiferenciados do município de Aveiro. A tentativa de otimização pretende alcançar uma gestão integrada, fazendo diminuir os custos associados à operação de recolha e não criando constrangimentos entre a população.

O estudo deste caso prático envolveu a utilização do *ArcGIS Network Analyst*, versão 10.1.

O município de Aveiro, situado na Região Centro e Sub-região do Baixo Vouga, ocupa uma área de 197,3 km<sup>2</sup> e é constituído por 14 freguesias: Aradas, Cacia, Eirol, Eixo, Esgueira, Glória, Nariz, Oliveirinha, Requeixo, São Bernardo, São Jacinto, Vera Cruz, Santa Joana e Nossa Senhora de Fátima (Figura 5.1).

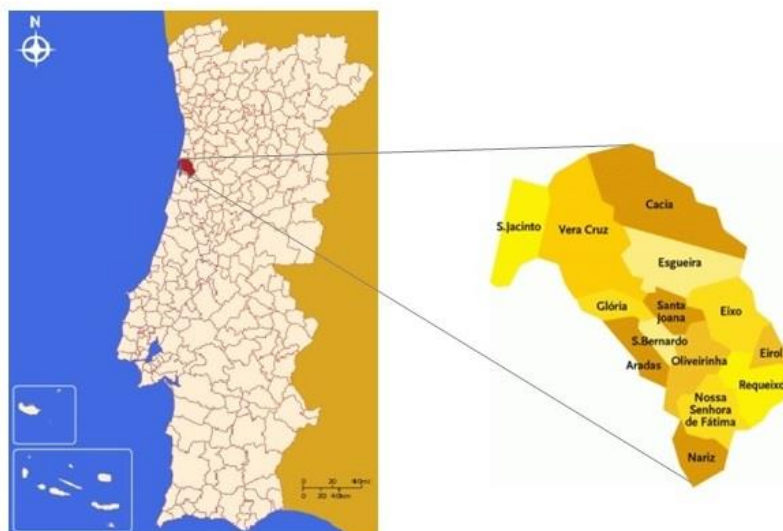


Figura 5.1 – Localização do município de Aveiro e suas freguesias

Na Tabela 5.1 são apresentados os dados relativos ao número de habitantes, área e densidade populacional de cada freguesia pertencente ao município de Aveiro.

Tabela 5.1 – Dados de população, área e densidade populacional de cada freguesia do município de Aveiro (INE, 2011)

Freguesia	Habitantes	Área [km <sup>2</sup> ]	Densidade populacional [hab/km <sup>2</sup> ]
Aradas	9157	8,9	1028,9
Cacia	7354	35,8	205,4
Eirol	753	5,7	132,1
Eixo	5571	16,7	333,6
Esgueira	13431	17,1	785,4
Glória	9099	6,8	1338,1
Nariz	1418	9,3	152,5
Oliveirinha	4817	12,1	398,1
Requeixo	1222	10,4	117,5
São Bernardo	4960	3,9	1271,8
São Jacinto	993	13,7	72,5
Vera Cruz	9657	38,5	250,8
Santa Joana	8094	5,8	1395,5
Nossa Senhora de Fátima	1924	12,6	152,7
<b>Aveiro</b>	<b>78450</b>	<b>197,30</b>	<b>397,6</b>

O percurso RSU I 06 estudado envolvia, não na totalidade, as freguesias de Eixo, Esgueira e Santa Joana. Estas zonas são áreas mediantemente urbanas, envolvendo também algumas áreas de carácter rural e, por isso, com necessidades diversificadas de recolha.

## 5.2 GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS INDIFERENCIADOS EM AVEIRO

A gestão de RU é da responsabilidade das autarquias. Desta forma, a Câmara Municipal de Aveiro (CMA) tem a tarefa de gerir os resíduos produzidos no seu município, embora de forma delegada nos Serviços Municipalizados de Aveiro (SMA).

Os SMA eram um serviço público de interesse local, dotados de autonomia técnica, administrativa e financeira, tendo como principal objetivo satisfazer as necessidades da população no que diz respeito à gestão integrada de RU e limpeza pública (SMA, 2013),

mas que recentemente perdeu esse estatuto, estando integrada organicamente na edilidade aveirense: CMA.

Nos últimos anos, os SMA têm procedido à racionalização do serviço de higiene e limpeza urbana, tendo em vista a redução de custos, sem comprometer a qualidade desses serviços. Para o referido efeito tem contribuído a diminuição das quantidades de RU recolhidas e tratadas, a que não é alheia a crise económica instalada em Portugal.

Apesar das tarefas de gestão de resíduos serem da responsabilidade dos SMA, o serviço de limpeza urbana, a recolha de resíduos indiferenciados, a varredura das áreas municipais e a recolha de monos são tarefas realizadas sob contrato por uma entidade privada, a SUMA (Serviços Urbanos e Meio Ambiente, SA).

A SUMA é uma empresa privada do Grupo Mota-Engil e Urbaser que procura soluções eficazes de promoção da cidadania ativa e da responsabilidade social. As suas áreas de atuação dizem respeito à recolha de resíduos, limpeza urbana, gestão e tratamento de resíduos, análises laboratoriais e educação ambiental (SUMA, 2009).

No município de Aveiro, a SUMA é responsável pela recolha e entrega dos RU produzidos ao sistema multimunicipal ERSUC (Resíduos Sólidos do Centro, SA). A ERSUC é uma empresa pública do grupo Águas de Portugal, comparticipada pela Empresa Geral de Fomento (EGF) e Câmaras Municipais do Litoral-Centro de Portugal. A ERSUC é assim um Sistema Multimunicipal que inclui 2 aterros controlados, em Aveiro e em Coimbra, com aproveitamento de biogás, estações de transferência, sistema de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB), tratamento dos lixiviados provenientes do aterro, recolha seletiva e triagem do material, etc. (ERSUC, 2013b).

Por outro lado, a ERSUC tem como principais objetivos (ERSUC, 2013b):

- Assegurar a capacidade de tratamento de RSU da região Litoral Centro;
- Assegurar a sustentabilidade das operações;
- Promover as atividades de forma a minimizar os custos envolvidos;
- Adotar melhores medidas ao nível da qualidade, gestão ambiental, higiene, saúde e segurança no trabalho, de responsabilidade social;
- Desenvolver a valorização energética;
- Contribuir para o desenvolvimento do setor dos resíduos.

O sistema multimunicipal – ERSUC – é responsável pelo tratamento e valorização de RU de 36 municípios, abrangendo uma área de 7000 km<sup>2</sup> e prestando serviço a cerca de 1 milhão de habitantes. Em relação ao município de Aveiro, a ERSUC utiliza o sistema de TMB para proceder ao tratamento de resíduos indiferenciados, efetuando também a recolha e triagem dos resíduos recicláveis (ERSUC, 2013b).

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE AVEIRO

De acordo com os resultados dos últimos censos, a população residente do município de Aveiro é de 78450 habitantes (INE, 2011).

Para o estudo da gestão de RU no município de Aveiro, é importante conhecer a composição física e a quantidade diária dos RU produzidos.

#### 5.3.1 COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS URBANOS INDIFERENCIADOS

A Tabela 5.2 e a Figura 5.2 apresentam a composição física do RU produzido no ano de 2013 no sistema multimunicipal que envolve o município de Aveiro, admitindo-se que possam representar uma boa aproximação de todo o sistema.

Tabela 5.2 – Composição física do RU produzido na área geográfica do Sistema Multimunicipal do Litoral Centro (ERSUC, 2014a)

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Composição (%)</b>
Finos (<20 mm)	-	15,37
Resíduos Putrescíveis	Resíduos alimentares, de jardim ou outros resíduos putrescíveis	38,81
Papel/Cartão	Resíduos de embalagem de papel/cartão, jornais e revistas, prospectos publicitários ou outros resíduos de papel/cartão	13,06
Plástico	Resíduos de embalagens em filme de PE, rígidas em PET, PEAD, EPS ou outros resíduos de plástico	10,10
Vidro	Resíduos de embalagens de vidro ou outros resíduos de vidro	5,39
Compósitos	Resíduos de embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL), outros resíduos de embalagens compósitas, pequenos aparelhos eletrodomésticos	3,46
Têxteis	Resíduos de embalagens têxteis ou outros resíduos têxteis	2,33

Têxteis sanitários	-	5,15
Metais	Resíduos de embalagens ferrosas, de alumínio ou outros resíduos ferrosos e metálicos	1,91
Madeira	Resíduos de embalagens de madeira ou outros resíduos de madeira	0,48
Resíduos Perigosos	Produtos químicos, tubos fluorescentes, lâmpadas de baixo consumo, pilhas e acumuladores ou outros resíduos perigosos	0,55
Outros resíduos	Outros resíduos de embalagens ou não embalagem	3,39

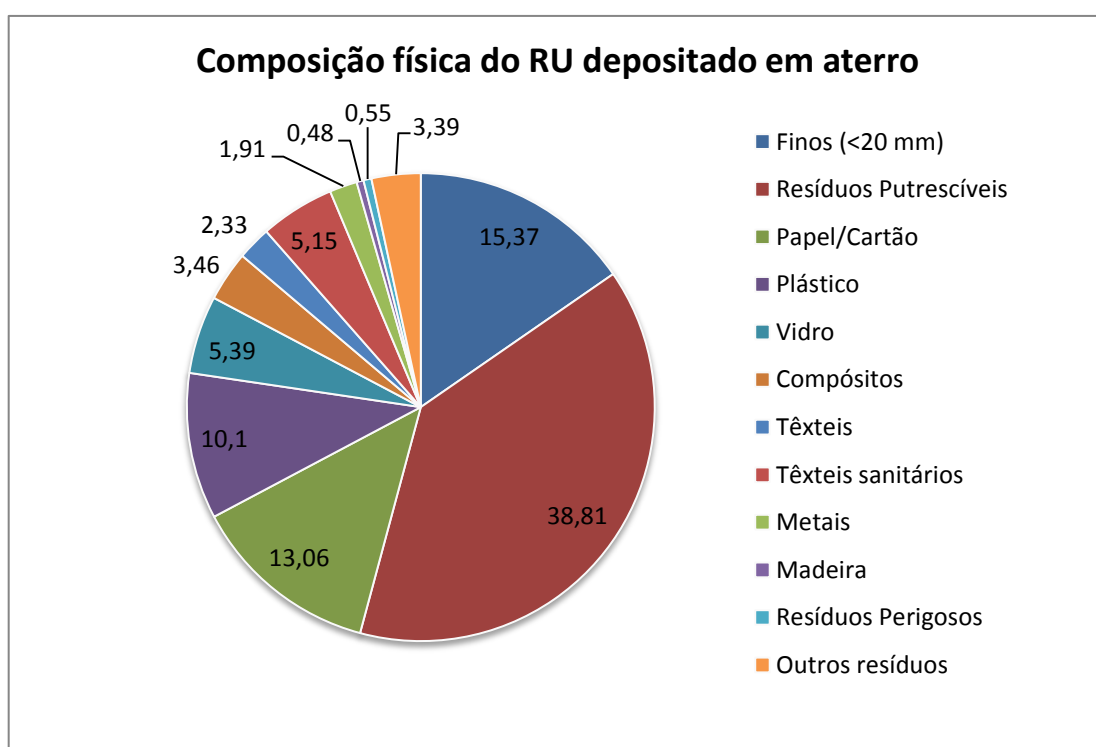


Figura 5.2 – Composição física do RU depositado em aterro (adaptado de (ERSUC, 2014a))

### 5.3.2 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS URBANOS

Na Tabela 5.3 são apresentadas as quantidades de RSU recolhidas mensalmente no município, referentes ao ano de 2012, podendo constatar-se entre maio e setembro a ocorrência de uma maior produção de resíduos, eventualmente explicado pelo aumento da presença de forasteiros devido à época de férias. Considerando 78450 habitantes, e pela totalidade de resíduos urbanos indiferenciados recolhidos (35991,0 toneladas) pode

concluir-se que cada habitante produz aproximadamente 1,27 kg/dia de resíduos urbanos indiferenciados.

Tabela 5.3 – Quantidades mensais de RSU recolhidas no município de Aveiro, referentes ao ano de 2012 (SMA, 2013)

	<b>ton RSU recolhidas</b>
<b>Jan</b>	2962,82
<b>Fev</b>	2619,08
<b>Mar</b>	3086,96
<b>Abr</b>	2898,76
<b>Mai</b>	3291,86
<b>Jun</b>	3115,36
<b>Jul</b>	3153,56
<b>Ago</b>	3134,82
<b>Set</b>	2991,02
<b>Out</b>	3070,46
<b>Nov</b>	2745,86
<b>Dez</b>	2920,40
<b>Total</b>	35991,0
<b>Média mensal</b>	2999,2
<b>População</b>	78450
<b>kg/hab.dia</b>	1,27

Na Tabela 5.4 são apresentadas as quantidades de RSU recolhidas pela SUMA nos anos de 1996 a 2012. É possível observar que as quantidades de RSU recolhidas aumentaram até 2008, enquanto que entre 2009 e 2012 essas quantidades diminuíram devido à redução da produção de resíduos, associada à crise económica verificada durante este período.

Por outro lado, a Tabela 5.5 apresenta as quantidades de RSU entregues na unidade de TMB no ano de 2013.



Tabela 5.4 – Quantidades de RSU recolhidas pela SUMA entre os anos de 1996 e 2012 (SMA, 2013)

Ano	ton RSU recolhidas
1996	24 856
1997	30 666
1998	30 355
1999	33 135
2000	34 175
2001	33 714
2002	35 743
2003	35 612
2004	35 912
2005	35 579
2006	38 674
2007	38 218
2008	38 747
2009	37 879
2010	37 512
2011	37 430
2012	35 991

Tabela 5.5 – RSU entregue na unidade de TMB referente ao ano de 2013 (ERSUC, 2014b)

	ton RSU
Jan	3047,7
Fev	2685,9
Mar	2836,44
Abr	2981,66
Mai	2828,58
Jun	2727,08
Jul	3017,68
Ago	2898,98
Set	2687,68
Out	3071,9
Nov	2721,32
Dez	2727,3
Total	34232,22

## 5.4 SISTEMA CONTENTORES DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS (PERCURSO RSU I 6)

O processo de recolha de resíduos urbanos indiferenciados do município de Aveiro está organizado em dez percursos diferentes que são executados com uma frequência que depende da população servida e da capacidade de alocação (inventário de contentores).

O processo típico de recolha do município aveirense é do tipo Sistema de Contentor Fixo Mecanizado (SCFM), baseado em contentores herméticos de polietileno com 800 litros de capacidade unitária e recolha por um veículo 20 m<sup>3</sup> de recolha hermética com dispositivo de carga automática, que se desloca entre locais onde estão sedeados os contentores.

O presente trabalho desenvolveu-se em torno de um único percurso: Percurso RSU I 06. Este percurso serve as freguesias de Esgueira (parte), Santa Joana, e Eixo (parte), tendo incluído trabalho de campo de reconhecimento e observação do inventário de contentores.

### 5.4.1 INVENTÁRIO

Durante 3 dias, entre as 9:00 e as 13:00, foi realizado o trabalho de campo que consistiu na atualização do inventário do sistema de contentores de recolha de resíduos indiferenciados do percurso RSU I 06. Este trabalho que envolveu deslocações ao terreno planeadas com os SMA, permitiu o conhecimento do percurso e zona de trabalho, através da passagem por todos os locais de recolha.

Após o preenchimento de todos os campos definidos (Tabela 5.6), compilando os dados principais (Tabela 5.7) e recorrendo a levantamentos aerofotogramétricos impressos à escala 1:4000 e 1:2000, onde foram marcados todos os locais de recolha, e localizado cartograficamente cada um destes, com recurso ao *software Google Earth* (Coordenadas UTM WGS 1984 29N).

A Tabela 5.6 ilustra o modelo de cadastro de contentores que ocorrem num dado local de recolha, e que serviu de base à preparação da Tabela 5.7, que permitiu representar cada local de recolha em ambiente *ArcMap*.

Os atributos (campos) considerados para a Tabela 5.6 incluem: o percurso a que pertence, a respetiva freguesia, o arruamento, o local, as coordenadas geográficas, a referência, o tipo, a capacidade, o estado e a especificação de cada contentor, o tipo de contrato, o proprietário e observações, caso existam.

Tabela 5.6 – Modelo de cadastro dos locais de recolha

Atributos do contentor	Exemplo
ID_Local	1
Percurso	RSU I 06
Freguesia	Esgueira
Arruamento	Rua Carlos Alberto Moreira
Local	Bela Vista – FT 4
Coordenadas XX	532700
Coordenadas YY	4499416
Referência_contentor	CA0397
Contentor_tipo	PEAD
Contentor_capacidade	800
Contentor_estado	Mau estado
ID_Serviço_especificações	1
Contrato_entidade	SMA
ID_contrato_tipo	1
Proprietário	SUMA
Observações	Encaixe

Tabela 5.7 – Modelo de cadastro dos locais de recolha simplificado

Atributos do local de recolha	Exemplo
ID_Local	1
Percurso	RSU I 06
Freguesia	Esgueira
Arruamento	Rua Carlos Alberto Moreira
Local	Bela Vista – FT 4
Coordenadas XX	532700
Coordenadas YY	4499416
Número de contentores/local	2

#### 5.4.2 ESPECIFICAÇÕES

A Tabela 5.8 mostra os vários ID\_Serviço\_especificações (frequência do serviço de recolha) utilizados no preenchimento da Tabela 5.6. Estas tabelas podem e devem ser atualizadas com alguma frequência, mediante a existência de novos dados.

Relativamente aos dias da semana, a nomenclatura presente refere-se a segunda-feira (2), terça-feira (3), quarta-feira (4), quinta-feira (5), sexta-feira (6) e sábado (7).

Tabela 5.8 – Frequência do serviço de recolha

ID_Serviço_especificações	Frequência do serviço	Dias da semana
1	Diária/Diurno	234567
2	Diária/Noturno	234567
3	4x por semana	2457
4	4x por semana	3467
5	4x por semana	2357
6	3x por semana	246
7	3x por semana	357
8	3x por semana	257
9	2x por semana	24
10	2x por semana	35
11	2x por semana	36
12	2x por semana	25
13	2x por semana	47
14	Semanal	2
15	Semanal	3
16	Semanal	4
17	Semanal	5
18	Semanal	6
19	Quinzenal	4
20	Mensal	4

A Tabela 5.9 apresenta o tipo de contrato utilizado no preenchimento da Tabela 5.6. Esta variável esclarece qual o tipo de contrato estabelecido, com o respetivo valor, entre a entidade que faz o contrato e o cliente.

Tabela 5.9 – Tipo de contrato

ID_contrato_tipo	Tipo de contrato mensal	Valor unitário (€)
1	Recolha doméstica pública	0
2	Aluguer simples	16,50
3	Recolha 1x/semana	50,00
4	Recolha 2x/semana	95,00
5	Recolha 3x/semana	140,00
6	Recolha 4x/semana	185,00
7	Recolha 5x/semana	235,00
8	Recolha 6x/semana	280,00
9	Aluguer+Recolha 1x/semana	65,00
10	Aluguer+Recolha 2x/semana	110,00
11	Aluguer+Recolha 3x/semana	155,00
12	Aluguer+Recolha 4x/semana	200,00
13	Aluguer+Recolha 5x/semana	250,00
14	Aluguer+Recolha 6x/semana	295,00

## 5.5 CARACTERIZAÇÃO DO PERCURSO RSU I 06

O percurso RSU I 06 em estudo envolve as seguintes zonas: Presa, Quinta do Gato, Solposto, Azenha de Baixo, Quinta do Torto, Azurva, Griné, Alagoas, Quinta da Bela Vista, Viso e Caião. Estas zonas são áreas urbanas e rurais e, por isso, pode ser possível moldar as características da operação de recolha.

Este percurso envolve 388 contentores, com capacidade de 800 L, distribuídos por 261 locais de recolha, sendo que, o número máximo de contentores encontrado num dado local foi de 4. Destes 388 contentores, 378 são propriedade da SUMA, enquanto que, os restantes 10 são particulares (contrato com os SMA, propriedade de empresas privadas). A maioria dos contentores é do tipo PEAD (Figura 5.3), havendo alguns ainda do tipo METAL, existindo 8 contentores subterrâneos (Figura 5.4).



Figura 5.3 – Contentor do tipo PEAD



Figura 5.4 – Contentor subterrâneo

Neste percurso, a operação de recolha é diária, efetuada de segunda-feira a sábado, durante o período da manhã. O veículo utilizado tem uma capacidade de 20 m<sup>3</sup> e a mão de obra utilizada, recorre a um motorista e dois cantoneiros (CMA, 2011).

## 5.6 TRATAMENTO DOS DADOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

A criação de modelos de representação geográfica assenta em diferentes componentes (conjuntos de pontos, linhas, polígonos ou elementos *raster*) que, devidamente georreferenciados, permitem a representação (mapas) ou o tratamento para obtenção de determinados resultados de análise (procedimentos).

Para este efeito, procura-se obter informação já disponível sob diferentes formas, proceder ao acondicionamento e edição de nova informação, se necessário.

### 5.6.1 ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO

De forma a organizar todo o material disponível, foi utilizada a aplicação *ArcCatalog*.

A forma apropriada de organizar informação geográfica passa por criar uma *Geodatabase*. A *Geodatabase* Percurso RSU I 06 é uma base de dados que armazena informação geográfica, centralizada em dados espaciais e seus respetivos atributos referentes ao Percurso RSU I 06 em estudo (Figura 5.5).

A Figura 5.5 apresenta toda a informação geográfica que foi necessária, no entanto, numa primeira fase, o carregamento da *Geodatabase* foi realizado com a informação disponível, nomeadamente:

- AVEIRO\_73\_UTM (*Feature Class* do tipo *Polygon* com o Município de Aveiro);
- BGRI2011\_0105\_Project (*Feature Class* do tipo *Polygon* com as subsecções do Município de Aveiro);
- LOCAIS\_XX\_ (Tabela *Excel* contendo as coordenadas XY dos locais de recolha);
- roads.shp (*Shapefile* com as ruas de Portugal Continental, não armazenada na *Geodatabase* e, por isso, carregada diretamente em *ArcMap*).

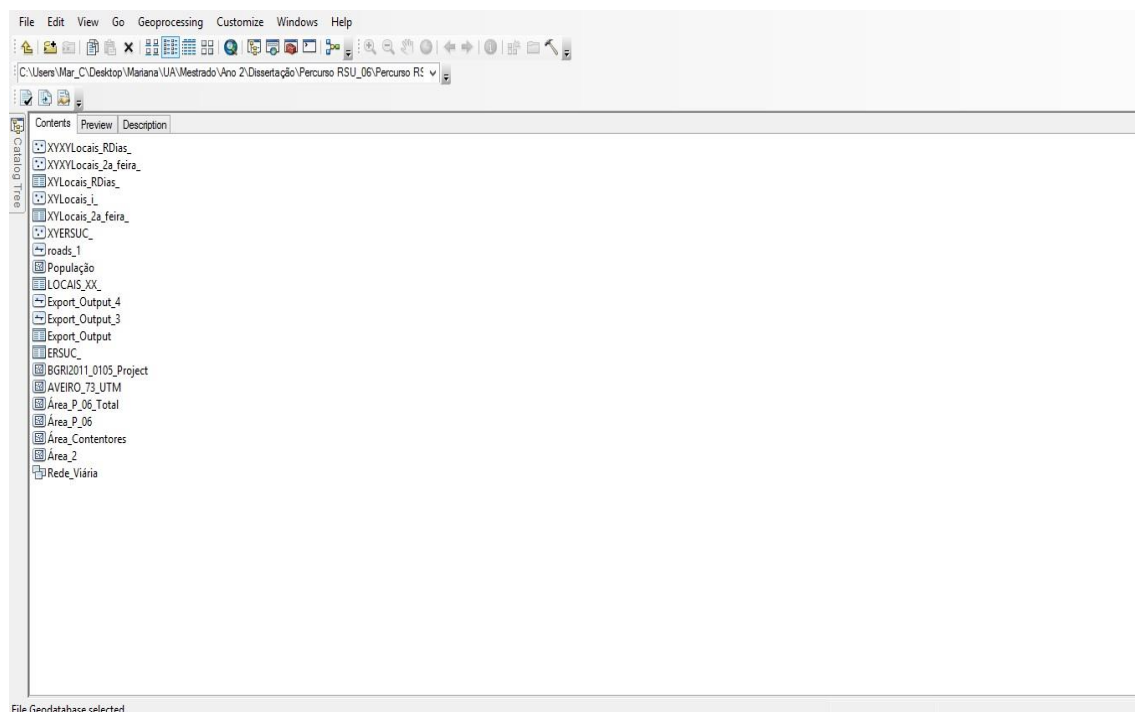


Figura 5.5 – Componentes da *Geodatabase*, Percurso RSU I 06, em *ArcCatalog*

### 5.6.2 REPRESENTAÇÃO

A partir da base de dados, faz-se a importação de todos os dados para o *ArcMap*: BGR2011\_0105\_Project (*Feature Class* do tipo *Polygon* com as subsecções), AVEIRO\_73\_UTM (*Feature Class* do tipo *Polygon* com o Município de Aveiro), LOCAIS\_XX\_ (Tabela com locais de recolha). O *ArcMap* permitirá a representação espacial dos dados importados.

Para poder representar os locais de recolha no mapa, é necessário utilizar o comando *Display XY Data*. Este comando permite seleccionar as coordenadas geográficas dos pontos, de forma a que estes apareçam devidamente representados (Figuras 5.6 e 5.7).

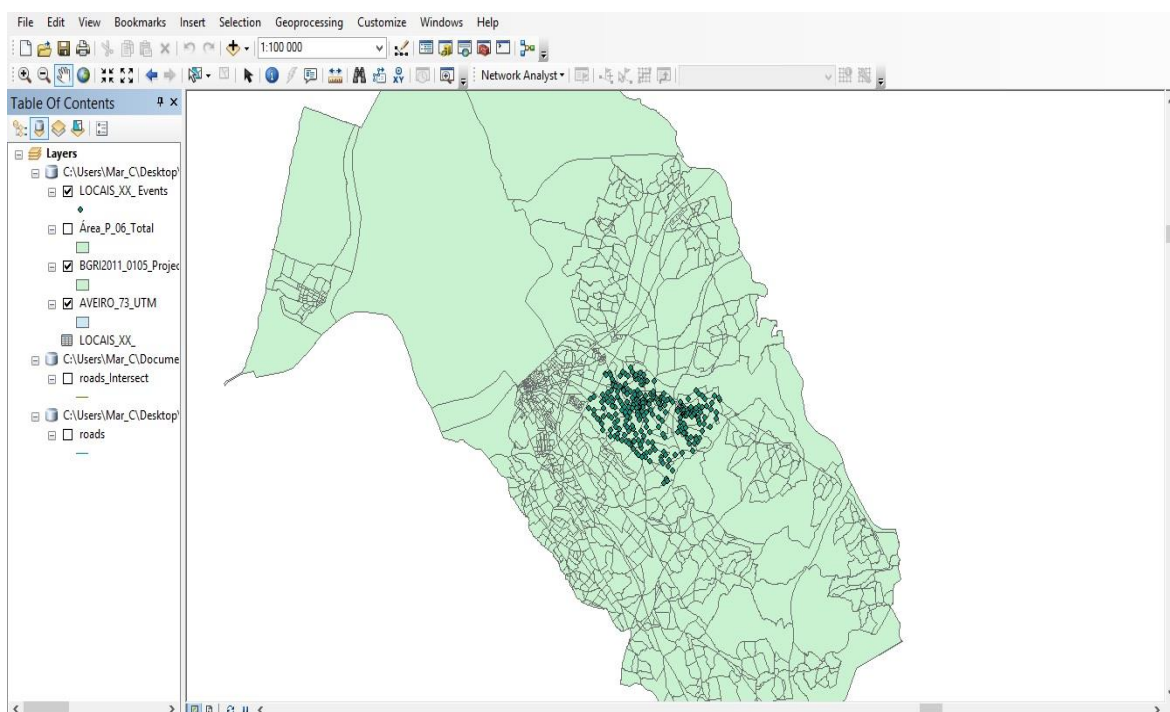


Figura 5.6 – Representação em *ArcMap* dos locais de recolha



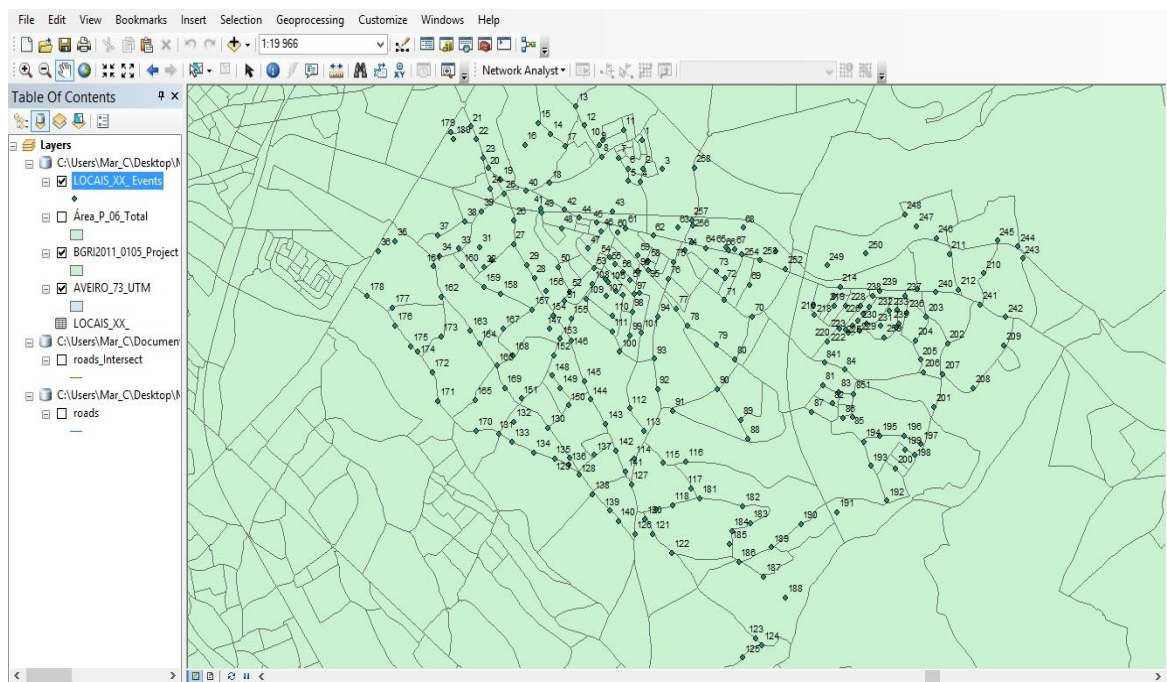


Figura 5.7 – Representação pormenorizada em ArcMap dos locais de recolha

Posteriormente, em *ArcCatalog*, são criadas as *shapefiles polygon*, para estabelecer uma área mais restrita de trabalho, não havendo possibilidade de trabalhar com a área de todo o município. Esta opção permite criar um polígono (Área\_P\_06\_Total) que delimita a área em estudo (Figura 5.8). Esta área foi construída de forma a conseguir abranger o local onde é efetuada a recolha e o trajeto até ao local de descarga dos veículos de recolha.

Depois, o polígono será intersetado, recorrendo à ferramenta *Intersect* do *ArcToolBox*, com a *feature class* correspondente aos arruamentos, possibilitando retirar os arruamentos que pertencem à área de interesse definida (Figura 5.9).

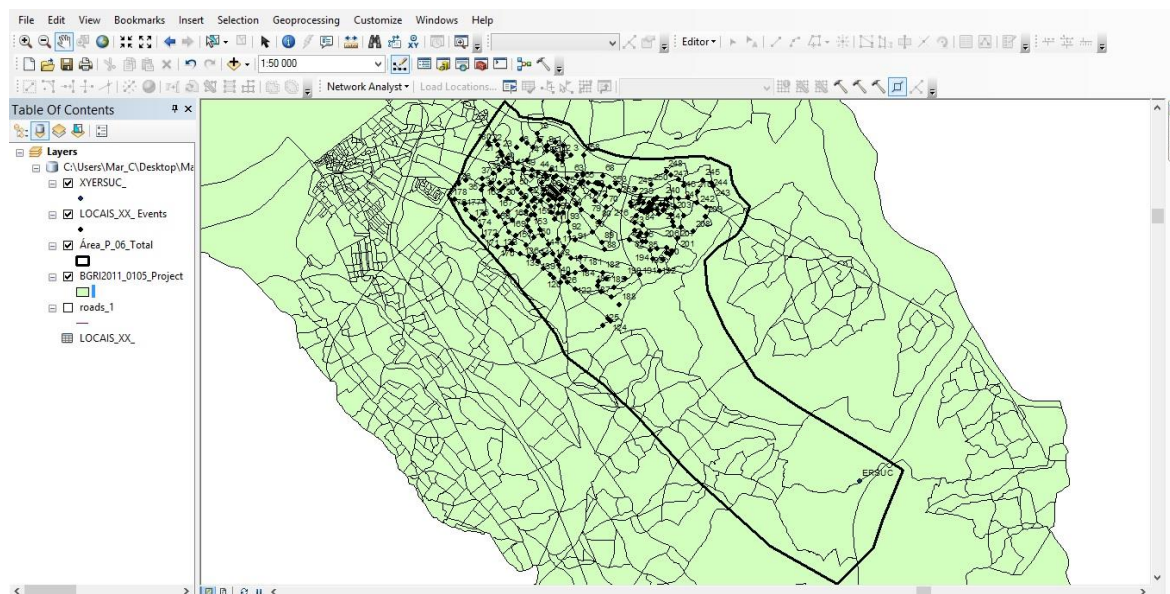


Figura 5.8 – Representação em *ArcMap* do polígono representativo da área em estudo

## 5.7 DEFINIÇÃO DA REDE VIÁRIA (*NETWORK DATASET*)

A operação de recolha de resíduos é condicionada por um determinado conjunto de atributos que caracterizam os vários troços e constituem um dado circuito de recolha que serve o percurso.

A informação de base necessária à construção de um procedimento de recolha é, por um lado, a rede viária e, por outro, o conjunto de pontos ou locais de paragem onde se encontram contentores para recolher resíduos.

### 5.7.1 REDE VIÁRIA

A rede viária que serve o Percurso RSU I 06 em estudo foi obtida a partir de uma seleção da rede viária do município. Dado que o município não dispõe ainda de uma rede viária especificamente desenhada, foi necessário extrair a rede viária referente ao município a partir de uma rede viária obtida na Web para Portugal Continental (roads.shp) (Geofabrik, 2013).

Para aplicação no caso prático, seria mais correto ter acesso à rede viária de todo o município, no entanto foi selecionada apenas a área que envolve o percurso RSU I 06 e alguns arruamentos que dão acesso às instalações da ERSUC, onde os veículos são descarregados.

Como já foi mencionado anteriormente, partindo de uma *shapefile* que continha as ruas de Portugal Continental (roads.shp), extraíram-se os arruamentos da área de interesse, isto é, objeto do percurso de recolha incluindo o transporte até destino final, através de um processo de interseção com um polígono delimitador da referida área. Deste processo resulta assim uma *feature class* do tipo *Polyline* (Rede\_Viária\_1) que se representa na Figura 5.9.

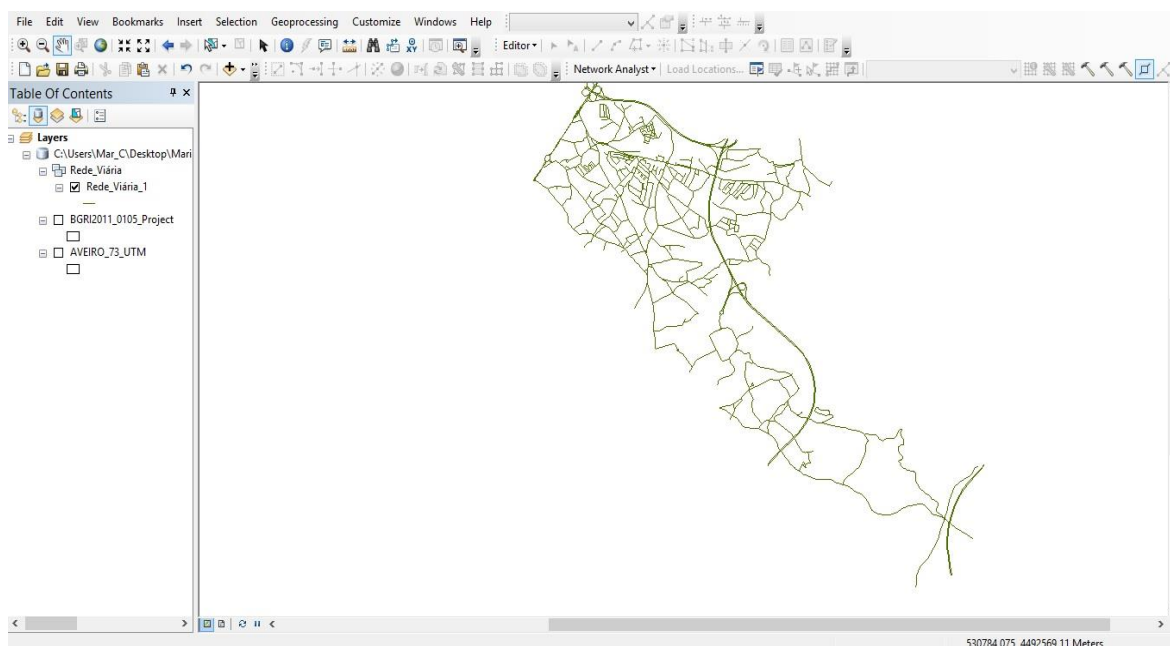


Figura 5.9 – Representação em *ArcMap* dos arruamentos incluídos na área em estudo

A análise da tabela de atributos da *feature class* Rede\_Viária\_1 inicial contendo a rede de arruamentos mostrou a necessidade de atualizar o número e a informação dos diferentes campos já que, a *feature class* em causa se apresentava bastante incompleta e sem alguns dos atributos (campos) essenciais ao processo de otimização pretendido neste trabalho.

Por outro lado, a análise do conteúdo geográfico da *feature class* de linhas (Rede\_Viária\_1) permitiu concluir que também alguns troços estavam incompletos ou incorretos e, por isso, foram acrescentados, corrigidos ou mesmo eliminados, usando os instrumentos da barra de ferramentas *Editor* do *ArcMap*: (a) os acrescentos tiveram a ver com a existência de novos arruamentos para o que foram digitalizados os novos troços da rede; (b) as correções foram executadas ao sentido da edição/digitalização de alguns troços para o que foram previamente eliminados; (c) noutros casos foi necessário verificar

e corrigir se necessário a interseção entre os diferentes troços da rede, quebrando-os em todos os pontos de interseção, recorrendo à ferramenta *Split Polygons* (como exemplificado na Figura 5.10); (d) foram ainda eliminados alguns troços que estavam a mais. Estes procedimentos são essenciais à circulação na rede, pois em caso contrário resultam obstáculos à circulação, originando rotas anómalas ou mesmo impedimento de traçado.

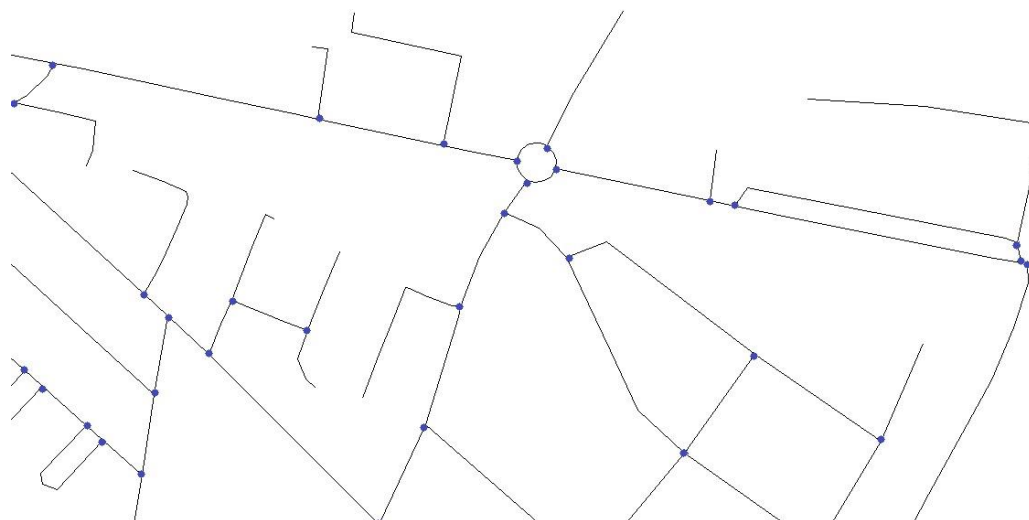


Figura 5.10 – Exemplificação da quebra dos troços em todos os pontos de interseção

Em seguida, a tabela de atributos da *feature class* de linhas (Rede\_Viária\_1) foi analisada e completada tendo em conta o conjunto de atributos essenciais ao funcionamento da extensão *Network Analyst*. Inicialmente, para cada linha ou registo (troço) apresentava os seguintes atributos: *name* (nome), *ref* (referência), *type* (tipo de arruamento), *oneway* (sentido de circulação preenchido de forma incorreta), *bridge/tunnel* (indicação para a presença de pontes/túneis) e *maxspeed* (campo velocidade máxima em branco).

A Figura 5.11 mostra o conjunto dos atributos de cada registo (troço) da rede viária, sendo que alguns desses registos são intrínsecos (OBJECTID\_1, Shape, Shape\_Length). Por outro lado, a Tabela 5.10 apresenta as propriedades e a descrição de cada atributo utilizado.



OBJECTID 1 *	Shape *	NAME	TYPE 1	ONEWAY	Shape Length	VELOCIDADE	TEMPO MI 1
662	Polyline	Largo do Cruzeiro da Feira	residencial	B	342,877258	40	0,514316
663	Polyline	Largo do Cruzeiro da Feira	residencial	TF	6,013334	12	0,030067
664	Polyline	Rua do Pinhal	residencial	B	79,197964	40	0,118797
665	Polyline	Travessa do Pinhal	residencial	B	213,222499	40	0,319834
666	Polyline	Rua de Santo António	residencial	B	385,976235	40	0,578964
667	Polyline	Largo do Cruzeiro da Feira	residencial	TF	38,894364	40	0,058342
668	Polyline	Rua de Santo António	residencial	B	39,580729	40	0,059371
669	Polyline	Largo do Cruzeiro da Feira	residencial	TF	62,898488	40	0,094348
670	Polyline	Rua do Pinhal	residencial	B	147,099657	40	0,220649
671	Polyline	Beco do Pinhal	residencial	B	217,187217	40	0,325781
672	Polyline	Rua de Santo António	residencial	B	51,369532	40	0,077054
673	Polyline	Rua do Pinhal	residencial	B	154,394567	40	0,231592
674	Polyline	Rua Justa Ferreira Dias	residencial	B	547,666248	40	0,821499
675	Polyline	Rua do Pinhal	residencial	B	15,030162	40	0,022545
676	Polyline	Rua de Santo António	residencial	B	162,090183	40	0,243135
677	Polyline	Rua do Vale da Moita	residencial	B	34,845957	40	0,052269
678	Polyline	Rua de Santo António	residencial	B	41,834327	40	0,062751
680	Polyline	Bairro Nordeste	residencial	B	59,412774	40	0,089119
681	Polyline	Bairro Nordeste	residencial	B	91,995207	40	0,137993
682	Polyline	Junto Rua do Pinhal	residencial	B	316,449049	40	0,474674
683	Polyline	Rua do Pinhal	residencial	B	464,686046	40	0,697029
684	Polyline	Rua do Pinhal	residencial	B	208,374999	40	0,312562
685	Polyline	Avenida do Chão de Baixo	residencial	B	225,521119	40	0,338282
686	Polyline	Avenida do Chão de Baixo	residencial	B	20,821589	12	0,104108
688	Polyline	Junto Rua Vale da Moita	track	B	396,264288	40	0,594396
689	Polyline	Rua Vale do Diogo	residencial	B	88,165917	40	0,132249
690	Polyline	Junto Rua Vale da Moita	track	B	218,238379	40	0,327358
691	Polyline	Rua do Vale da Moita	residencial	B	478,801983	40	0,718203
692	Polyline	Rua da Moita	residencial	B	555,642159	40	0,833463
693	Polyline	Rua Circunvalação da Moita	residencial	B	142,040173	40	0,21306
695	Polyline	Rua do Vale da Moita	residencial	B	388,954199	40	0,583431
696	Polyline	Rua Vale do Diogo	residencial	B	461,371525	40	0,692057
697	Polyline	Rua Circunvalação da Moita	residencial	B	276,285084	40	0,414428
701	Polyline	Rua Circunvalação da Moita	residencial	B	191,551572	40	0,287327
702	Polyline	Rua dos Portinhos	residencial	B	280,069132	40	0,420104
703	Polyline	Rua Circunvalação da Moita	residencial	B	742,258079	40	1,113387
704	Polyline	Rua dos Portinhos	residencial	B	45,707241	40	0,068561
706	Polyline	Rua da Azenha da Moita	residencial	B	51,234122	40	0,076851
708	Polyline	Rua das Quintas	residencial	B	91,638485	12	0,458192
709	Polyline	Rua Vuelas que Atravessam	path	B	345,73546	12	1,728677
710	Polyline	Rua da Azenha da Moita	residencial	B	745,201197	12	3,726006
711	Polyline	Rua do Chão Meio Alto	residencial	B	188,170686	12	0,940853
712	Polyline	Rua das Quintas	residencial	B	322,223543	12	1,611118
713	Polyline	Rua dos Campinhos	residencial	B	301,656589	12	1,508283

Figura 5.11 – Atributos de base da rede viária

Tabela 5.10 – Descrição dos vários atributos da rede viária

Atributo	Propriedades	Descrição	Observações
OBJECTID_1*	<i>Object ID</i>	Identificador único sequencial e dinâmico	Atributo automático
Shape*	<i>Geometry</i>	Entidades do tipo linha ou arco	Atributo automático
NAME	<i>Text</i>	Nome do arruamento	
TYPE_1	<i>Text</i>	Tipo de arruamento ( <i>motorway, path, pedestrian, primary, residential, secondary, track...</i> )	
ONEWAY	<i>Text</i>	Sentido de circulação viária. Valores: FT – Sentido único no sentido da digitalização da linha; TF - Sentido único no sentido contrário ao da digitalização da linha; B – Dois sentidos; N – Nenhum sentido	
Shape_Length	<i>Double</i>	Comprimento do arco em metros	Atributo automático
VELOCIDADE_KMH	<i>Short Integer</i>	Velocidade de circulação no arco em km/h	
TEMPO_MI_1	<i>Short Integer</i>	Tempo de circulação no arco em minutos	

O campo VELOCIDADE\_KMH é preenchido tendo em conta a velocidade média de circulação dos veículos na operação de recolha propriamente dita de resíduos, fixada arbitrariamente em 12 km/h em funções de recolha e em 40 km/h em regime de transporte para e do local de deposição. O campo TEMPO\_MI\_1 é o tempo que demora a percorrer cada troço, sendo calculado com base nos campos Shape\_Length e VELOCIDADE\_KMH, para todos os troços que a compõem.

Por outro lado, nas vias para automóveis (autoestradas ou suas vias de acesso) a velocidade assumida foi de 60 km/h.

Uma particularidade dos circuitos de recolha que se relaciona com esta questão das velocidades é a paragem para descarga da viatura no local de destino final. O *Network Analyst* não consegue representar esta particularidade, uma vez que, o final do circuito, para o *software* é o local de descarga do veículo e não o parque de viaturas do mesmo (Silva, 2009). No entanto, no nosso caso prático, o local de descarga de resíduos coincide com o local de paragem do veículo.

Quanto à edição do campo ONEWAY, foi necessário ter em atenção o sentido da digitalização de cada troço e o sentido da circulação no mesmo. Esta edição envolveu, em primeiro lugar, a quebra de todos os troços que constituem a rede viária em todos os pontos de interseção, conforme já referido; e, por último, a caracterização dos mesmos com os atributos anteriormente mencionados (Tabela 5.10). Ainda na edição do campo ONEWAY, algumas considerações foram tidas em conta, nomeadamente optando-se pela não circulação dos veículos de recolha nas autoestradas e suas vias de acesso, pelo que o campo ONEWAY foi preenchido com N.

Todo o trabalho descrito nesta secção é realizado em *ArcMap* sobre uma *feature class* de linhas.

### 5.7.2 NETWORK DATASET

A *feature class* referida no ponto anterior, para poder ser usada no âmbito de uma análise de rede, necessita de que seja estabelecida conectividade entre as extremidades de cada troço da rede. Em primeiro lugar, usando a aplicação *ArcCatalog*, é criada uma *feature dataset* (conjunto de várias *feature class*) na *Geodatabase* de suporte ao projeto. Em seguida, para a *feature dataset* indicada é importada a *feature class* Rede\_Viária\_1.

Finalmente, procede-se à criação da *Network Dataset* que já estabelece a conectividade anteriormente referida, acrescentando à *feature dataset* dois ficheiros (Rede\_Viária\_ND e Rede\_Viária\_ND\_Junctions). O primeiro ficheiro diz respeito à *Network Dataset* propriamente dita, com a conectividade que garante a circulação e que a *feature class* por si só não possuía. Por outro lado, o segundo ficheiro corresponde a uma *feature class* de pontos que inclui todas as junções presentes na rede viária. Esta operação de criação da *Network Dataset* é efetuada em *ArcCatalog* (Figura 5.12)

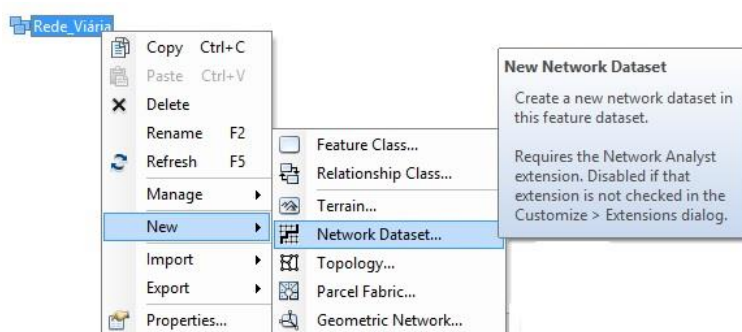


Figura 5.12 – Criação da *Network Dataset*

No âmbito da política de conectividade entre as extremidades, não são considerados os diferentes níveis dos troços da rede viária.

As Figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18 apresentam as propriedades da *Network Dataset* criada.



Figura 5.13 – Propriedades gerais da *Network Dataset*

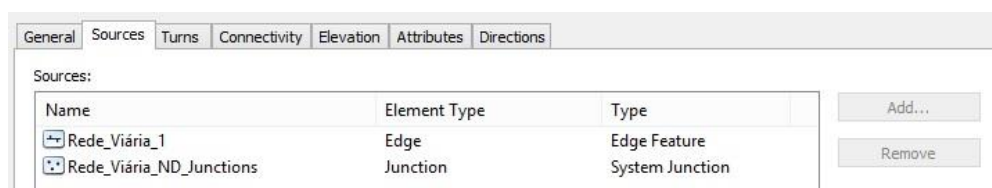


Figura 5.14 – Propriedades da *Network Dataset*, *Sources*

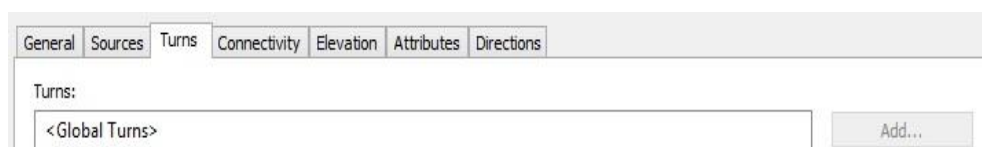


Figura 5.15 – Propriedades da *Network Dataset*, *Turns*

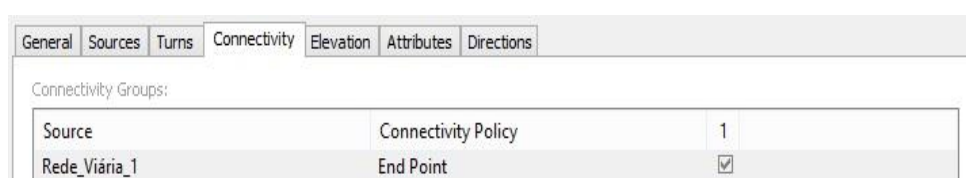
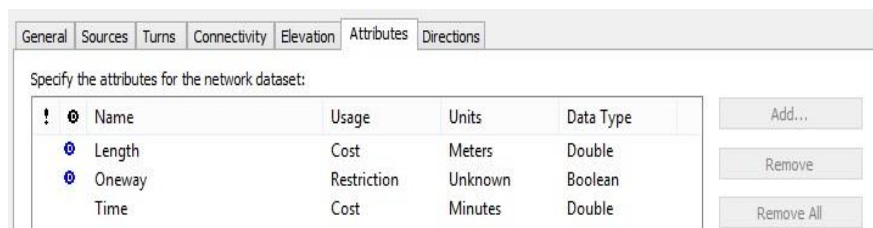


Figura 5.16 – Propriedades da *Network Dataset*, *Connectivity*



Figura 5.17 – Propriedades da *Network Dataset*, *Attributes*Figura 5.18 – Propriedades da *Network Dataset*, *Directions*

Uma vez criada a *Network Dataset* já é possível a sua utilização em análise de redes. Para o efeito, a *Network Dataset* é carregada em *ArcMap*. A partir desse momento já é possível utilizar as funcionalidades do *Network Analyst* (Figura 5.19).

Figura 5.19 – Barra de ferramentas do *Network Analyst*

### 5.7.3 LOCAIS DE ACESSO/PARAGEM (*NETWORK LOCATIONS*)

Para aplicação do *Network Analyst* aos serviços de recolha de resíduos e para além da *Network Dataset* é ainda necessário fornecer as *Network Locations*, que são os locais de recolha (*orders*), os parques de saída das viaturas e locais de descarga (*depots*). Isto pode ser efetuado através do carregamento de uma tabela de pontos com coordenadas XX, YY (Nota: a adição direta e iterativa dos pontos sobre o mapa também é possível com a diferença de não existir um conjunto de atributos associados a uma base de dados previamente elaborada).

#### 5.7.3.1 LOCAIS DE RECOLHA (ORDERS)

Os locais de recolha (*orders*) correspondem aos locais onde estão colocados um ou mais contentores para a deposição/alocação de resíduos por parte da população. Cada local de recolha possui atributos geográficos que definem a sua posição na rede (coordenadas XX e coordenadas YY).

A informação de base relativa aos locais de recolha decorre da informação disponível resultante do inventário realizado em trabalho de campo, de que resultou um ficheiro base em *Excel* (Anexo A) de que serviu de base à tabela locais dada na Figura 5.20.

A Tabela 5.11 apresenta as propriedades e respetiva descrição dos atributos da tabela de locais.

Comparando a informação presente no Anexo A e Figura 5.20 é possível observar a criação dos seguintes campos (procedimento executado em *Excel*): capacidade dos contentores no local, frequência de recolha no local, quantidade de resíduos a recolher por visita (kg), tempo de carga de cada contentor (min).

A importação da tabela anterior para *ArcMap* e a respetiva visualização é uma tarefa simples. Depois desta importação e após representação dos pontos no mapa, o ficheiro *Excel* que consiste numa *feature class* de pontos, passa a incluir o conjunto de atributos adicionados.

A Figura 5.20 apresenta um extrato da tabela de atributos dos locais de recolha. Como irá ser explicado de seguida, para o caso prático em estudo foram consideradas duas *feature class* de pontos, onde diferem apenas os valores das quantidades para segunda-feira e para os restantes dias. Desta forma, esta figura representa um destes exemplos.

OBJECTID	ID Local	Percurso	Freguesia	Arruamento	Local	Coordenadas XX	Coordenadas YY	Nº Cont	local	Capacidade cont	Nº Visitas sem	Quant recolhida	kg	Shape *	TimeService
1	1	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA CARLOS ALBERTO MOREIRA	BELA VISTA - FT 4	532700	4499416	2	800	6	67,84	Point	1		
2	2	RSU I 06	ESQUEIRA	TRAVESSA DA MALHA	BELA VISTA - JT P	532705	4499282	2	800	6	67,84	Point	1		
3	3	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA NOSSA SENHORA DOS ANJOS	BELA VISTA - FT L	532821	4499259	2	800	6	67,84	Point	1		
4	4	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA CARLOS ALBERTO MOREIRA	BELA VISTA - FT P	532886	4499192	2	800	6	67,84	Point	1		
5	5	RSU I 06	ESQUEIRA	PRACETA MÁRIO NASCIMENTO	BELA VISTA - FT 1	532815	4499197	1	800	6	33,92	Point	0,5		
6	6	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA NOSSA SENHORA DOS ANJOS	BELA VISTA - FT 2	532812	4499263	2	800	6	67,84	Point	1		
7	7	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA NOSSA SENHORA DOS ANJOS	BELA VISTA - FT 3	532556	4499319	2	800	6	67,84	Point	1		
8	8	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DA BELA VISTA	BELA VISTA - FT 5	532452	4499327	2	800	6	67,84	Point	1		
9	9	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DOS SANTOS POPULARES	BELA VISTA - JT P	532436	4499391	1	800	6	33,92	Point	0,5		
10	10	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DOS SANTOS POPULARES	BELA VISTA - FT 2	532459	4499413	1	800	6	33,92	Point	0,5		
11	11	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA 13 DE MAIO	BELA VISTA - FT 2	532584	4499488	2	800	6	67,84	Point	1		
12	12	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DE SÃO BARTOLOMEU	CABO LUIS - FT 37	532347	4499492	2	800	6	67,84	Point	1		
13	13	RSU I 06	ESQUEIRA	TRAVESSA DO CABO LUIS	CABO LUIS - JT 2	532298	4499597	2	800	6	67,84	Point	1		
14	14	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO SOL	CABO LUIS - JT CR	532143	4499446	2	800	6	67,84	Point	1		
15	15	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO SOL POENTE	CABO LUIS - FT CR	532070	4499506	2	800	6	67,84	Point	1		
16	16	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA MOISÉS CABICA	CABO LUIS - JT 12	531989	4499390	2	800	6	67,84	Point	1		
17	17	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO SOL	CABO LUIS - FT 32	532230	4499383	2	800	6	67,84	Point	1		
18	18	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DA BELA VISTA	AREAIS - ENTRAD	532139	4499195	1	800	6	33,92	Point	0,5		
19	19	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DOM SANCHO I	AREAIS - FT 11	531842	4499206	1	800	6	33,92	Point	0,5		
20	20	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA GENERAL COSTA CASCAIS	AREAIS - JT 11	531766	4499269	1	800	6	33,92	Point	0,5		
21	21	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA GENERAL COSTA CASCAIS	AREAIS - FT FLORI	531660	4499487	1	800	6	33,92	Point	0,5		
22	22	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA GENERAL COSTA CASCAIS	AREAIS - FT 42	531694	4499418	1	800	6	33,92	Point	0,5		
23	23	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO CAIÃO	AREAIS - FT 71	531738	4499319	2	800	6	67,84	Point	1		
24	24	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO CAIÃO	AREAIS - FT 24	531776	4499157	2	800	6	67,84	Point	1		
25	25	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO VISO	VISO - PROX JARDI	531882	4499132	2	800	6	67,84	Point	1		
26	26	RSU I 06	SANTA JO	RUA DO VISO	VISO - FT 63	531921	4499988	1	800	6	33,92	Point	0,5		
27	27	RSU I 06	SANTA JO	RUA DO VISO	VISO - FT 89	531920	4498981	2	800	6	67,84	Point	1		
28	28	RSU I 06	SANTA JO	RUA DO VISO	CAIÃO - CARJAP /	532047	4498680	1	800	6	33,92	Point	0,5		
29	29	RSU I 06	SANTA JO	RUA DO VISO	CAIÃO - JT 107	532001	4498750	2	800	6	67,84	Point	1		
30	30	RSU I 06	SANTA JO	RUA VASCO DA GAMA	CAIÃO - JT POLIDE	531790	4498776	2	800	6	67,84	Point	1		
31	31	RSU I 06	SANTA JO	RUA JOÃO AFONSO DE AVEIRO	CAIÃO - FIM DA RU	531716	4498946	2	800	6	67,84	Point	1		
32	32	RSU I 06	SANTA JO	RUA VASCO DA GAMA	CAIÃO - FT 44	531743	4498737	2	800	6	67,84	Point	1		
33	33	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO CAIÃO	CAIÃO - FT 141	531590	4498838	1	800	6	33,92	Point	0,5		
34	34	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DO CAIÃO	CAIÃO - FT 169	531473	4498799	1	800	6	33,92	Point	0,5		
35	35	RSU I 06	SANTA JO	RUA DA SOFIA	CAIÃO - FT 21	531205	4498876	1	800	6	33,92	Point	0,5		
36	36	RSU I 06	SANTA JO	RUA DA SOFIA	CAIÃO - FT RESTA	531102	4498823	1	800	6	33,92	Point	0,5		
37	37	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA NOVA DO CAIÃO	CAIÃO - FT SNACK	531459	4498909	1	800	6	33,92	Point	0,5		
38	38	RSU I 06	SANTA JO	RUA DO CAIÃO	CAIÃO - JT 111	531625	4498984	2	800	6	67,84	Point	1		
39	39	RSU I 06	SANTA JO	RUA DO CAIÃO	CAIÃO - FT 26 DO	531725	4499037	1	800	6	33,92	Point	0,5		
40	40	RSU I 06	SANTA JO	RUA D.SANCHO I	ALAGOAS - JUNT	531996	4499143	1	800	6	33,92	Point	0,5		
41	41	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA DOS AREAIS	AREAIS - PROX 12	532087	4499051	1	800	6	33,92	Point	0,5		
42	42	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA D.SANCHO I	AREAIS - JT PASS	532229	4499043	1	800	6	33,92	Point	0,5		
43	43	RSU I 06	ESQUEIRA	RUA BARRIO MANUEL DUARTE	AREAIS - FT 37	532520	4499037	1	800	6	33,92	Point	0,5		

Figura 5.20 – Atributos de base da tabela locais (locais de recolha)

Tabela 5.11 – Atributos da tabela de locais (locais de recolha)

Atributo	Propriedades	Descrição	Observações
OBJECTID	<i>Object ID</i>	Identificador único sequencial e dinâmico	Atributo automático
<i>Shape</i>	<i>Geometry</i>	Entidades do tipo ponto	Atributo automático
ID_Local	<i>Double</i>	Identificador da localização	
Percurso	<i>Text</i>	Percurso ao qual pertence a localização	
Freguesia	<i>Text</i>	Freguesia à qual pertence a localização	
Arruamento	<i>Text</i>	Arruamento ao qual pertence a localização	
Local	<i>Text</i>	Localização mais pormenorizada	
Coordenadas XX	<i>Double</i>	Coordenadas geográficas (XX) da localização	
Coordenadas YY	<i>Double</i>	Coordenadas geográficas (YY) da localização	
Nº Cont/local	<i>Double</i>	Número de contentores na localização	
Capacidade_cont	<i>Double</i>	Capacidade dos contentores na localização	
Nº Visitas/sem	<i>Double</i>	Frequência de recolha na localização	
Quant_recolhida (kg)	<i>Double</i>	Quantidade de resíduos a recolher por visita (kg)	
<i>TimeService</i>	<i>Text</i>	Tempo de descarga por local de recolha (min)	

A quantidade de resíduos a recolher de cada local em cada visita, corresponde ao penúltimo atributo apresentado. Na ausência de melhor alternativa, estimou-se o valor da quantidade recolhida em cada contentor a partir da quantidade de resíduos recolhida no mês de setembro de 2011, neste percurso (total de 386580 kg) sendo que o percurso foi efetuado 26 vezes neste mês, calculado a partir da Eq. 5.1.

$$m_i \left[ \frac{\text{kg}}{\text{local } i} \right] = M_R \frac{1}{P_R} \frac{1}{n_C} n_{Ci} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Sendo  $M_R$ , a massa de resíduos recolhida no mês estudado ( $\text{kg.mês}^{-1}$ );  $P_R$  o número de percursos por mês ( $\text{mês}^{-1}$ ), ou seja, o número de vezes por mês em que foi efetuada a recolha; e  $n_C$  o número total de contentores existente no percurso 6;  $n_{Ci}$  é o número de contentores por local existente no percurso RSU I 06.

Pelo facto de não existir recolha ao domingo, os valores de recolha à segunda-feira são muito diferentes dos restantes dias (terça-feira, quarta-feira, quinta-feira, sexta-feira, sábado). Desta forma, tendo em vista melhorar o processo de otimização, optou-se por apresentar valores médios para a recolha efetuada à segunda-feira e valores médios para os restantes dias da semana.

Tabela 5.12 – Cálculo da quantidade recolhida por local de recolha (segunda-feira)

<b>Cálculo de valores (segunda-feira)</b>	
$M_R$ [kg/mês]	97000
$P_R$ [percurso/mês]	4
$n_C$ [cont/percurso]	388
$m_i$ [kg/local i] para 1 cont	62,50
$m_i$ [kg/local i] para 2 cont	125,00
$m_i$ [kg/local i] para 3 cont	187,50
$m_i$ [kg/local i] para 4 cont	250,00

Tabela 5.13 – Cálculo da quantidade recolhida por local de recolha (todos os dias exceto, segunda-feira e domingo)

Cálculo de valores (restantes dias)	
$M_R$ [kg/mês]	289580
$P_R$ [percurso/mês]	22
$n_C$ [cont/percurso]	388
$m_i$ [kg/local i] para 1 cont	33,92
$m_i$ [kg/local i] para 2 cont	67,84
$m_i$ [kg/local i] para 3 cont	101,76
$m_i$ [kg/local i] para 4 cont	135,68

Nas Tabelas Tabela 5.12 e Tabela 5.13 são indicadas as quantidades a recolher por local, dependendo do número de contentores presentes.

Tendo sido editada em *Excel*, após concluir a base de dados alfanumérica, em ambiente *ArcCatalog* é originada uma base de dados geográfica (*Feature Class*), sendo possível representá-la automaticamente em *ArcMap*.

Assim, já no âmbito da extensão *Network Analyst*, e após selecionar qualquer uma das funcionalidades descritas no Cap. 4, é possível carregar as *Network Locations* a partir da *feature class* obtida anteriormente, recorrendo ao comando *Load Locations*. Na introdução das *Network Locations* existem quatro propriedades fundamentais que caracterizam cada ponto (ESRI, 2013a).

Tabela 5.14 – Propriedades das *Network Locations*

Característica	Descrição
<i>Name</i>	Nome do local de recolha/ID Local que consta na base de dados
<i>CurbApproach</i>	Refere o lado da rua pelo qual o veículo de recolha se aproxima do local de recolha
<i>ServiceTime</i>	Tempo de descarga por local de recolha
<i>PickupQuantities</i>	Quantidade de resíduos a recolher por cada local de recolha

### 5.7.3.2 PONTO DE PARTIDA (DEPOTS) E PONTOS DE DESCARGA DE RESÍDUOS (DEPOTS, ROUTE RENEWALS)

Os *depots* correspondem aos pontos de partida (local de onde parte o veículo de recolha) e chegada dos circuitos (local de descarga de resíduos, caso haja ou não excedência da capacidade do veículo). Os *route renewals* correspondem aos pontos de visita intermédia (estações de transferência) quando a viatura excede a capacidade de carga. Neste caso, o *route renewal* coincide com o ponto inicial e final do percurso, uma vez que não existe estação de transferência. Cada local de partida e chegada possui os três atributos apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Atributos dos pontos de partida e chegada

Atributo	Propriedades	Descrição	Observações
OBJECTID	<i>Object ID</i>	Identificador único sequencial e dinâmico	Atributo automático
Shape	<i>Geometry</i>	Entidades do tipo ponto	Atributo automático
NAME	<i>Text</i>	Nome do elemento	

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A preparação das condições para efetuar simulações de circuitos de recolha é um aspeto chave para que essas simulações tenham credibilidade. Nestas condições, para a realização de uma simulação, é necessário selecionar a opção de modelo de otimização (como demonstrado na Figura 4.14) e depois resolver (*Solve*) (Figura 6.1).

Após identificar os pontos a visitar, com base na funcionalidade requerida, o comando *Solve* é utilizado para traçar o circuito. Depois de traçado este circuito, obtém-se um resultado final principal que inclui a distância percorrida e o tempo utilizado no percorrer desse circuito, assim como o descritivo das direções efetivamente seguidas para transitar de um ponto ao outro do percurso.



Figura 6.1 – Ferramenta *Solve* do *Network Analyst*

### 6.1 PERCURSO SIMPLES (*ROUTE*)

Como já foi mencionado anteriormente, a aplicação *Route* do *Network Analyst*, determina o melhor percurso entre um dado conjunto de pontos, passando o veículo pelos mesmos, apenas uma vez. Com esta aplicação é possível determinar o melhor circuito com base num único critério (tempo ou distância), apesar do *software* nos fornecer valores para a distância que foi percorrida e o tempo que foi utilizado.

Com o apoio da aplicação *Route* do *Network Analyst* foram determinados vários circuitos, envolvendo apenas os locais de recolha a percorrer, a existência ou não de dispêndio de tempo de serviço em cada local de recolha e considerando a distância como impedância. Desta forma, não foram tidas em conta quaisquer quantidades recolhidas.

O percurso envolve a partida do local onde está o veículo (o aterro da ERSUC), na freguesia de Eirol, a passagem por todos os locais de recolha e o regresso ao local de partida do veículo.

Nos seguintes tópicos são apresentados três cenários. O Cenário 1 onde a sequência de visita respeita a ordem apresentada para os locais de recolha, com base na distância, não incluindo o tempo de serviço em cada local. O Cenário 2 é idêntico ao cenário anterior com a diferença de se considerar o tempo dispendido para o serviço de recolha em cada local. O Cenário 3 diz respeito a uma otimização feita ao Cenário 2, reordenando a sequência de visita dos locais de recolha.

#### 6.1.1 CENÁRIO 1

O Cenário 1, sobre o qual vai ser calculado um percurso com base na distância, respeita a sequência de visita dos pontos de acordo com a ordem dos locais de recolha e não envolve tempos de serviço em cada local de recolha.

A Figura 6.2 representa as propriedades definidas para o cálculo do percurso. Desta forma, a impedância utilizada foi a distância, em metros; foi definida as 06:00 como a hora de início do percurso; foram permitidas inversões de marcha; a velocidade fixada foi de 12 km/h e 40 km/h em recolha e em transporte para aterro, respetivamente, como já foi anteriormente mencionado.

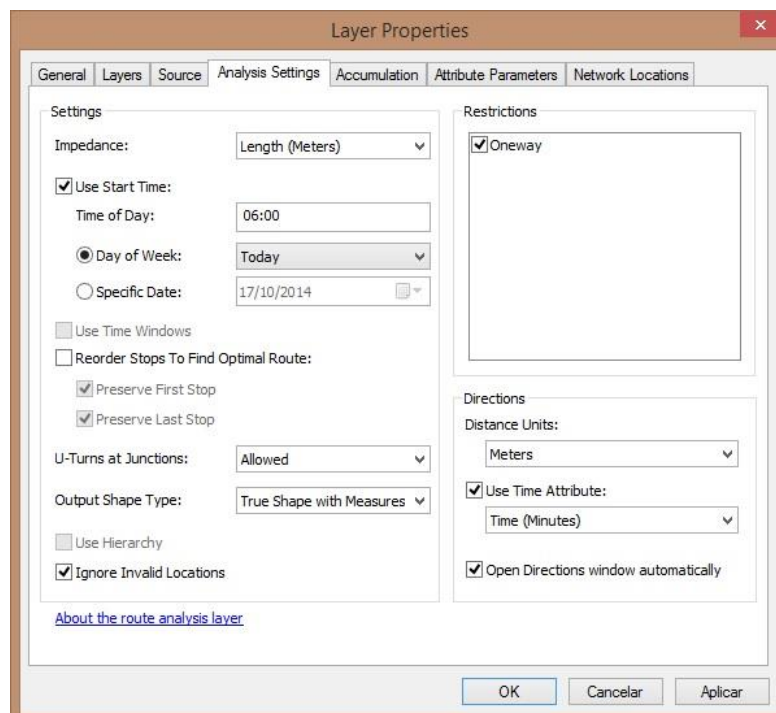


Figura 6.2 – Propriedades definidas no cálculo do percurso (Cenário 1)



A Figura 6.3 representa o circuito obtido. Não existindo reordenação dos pontos, é de reparar que o circuito é traçado respeitando a ordem dos locais de recolha desde o primeiro e último ponto do percurso.

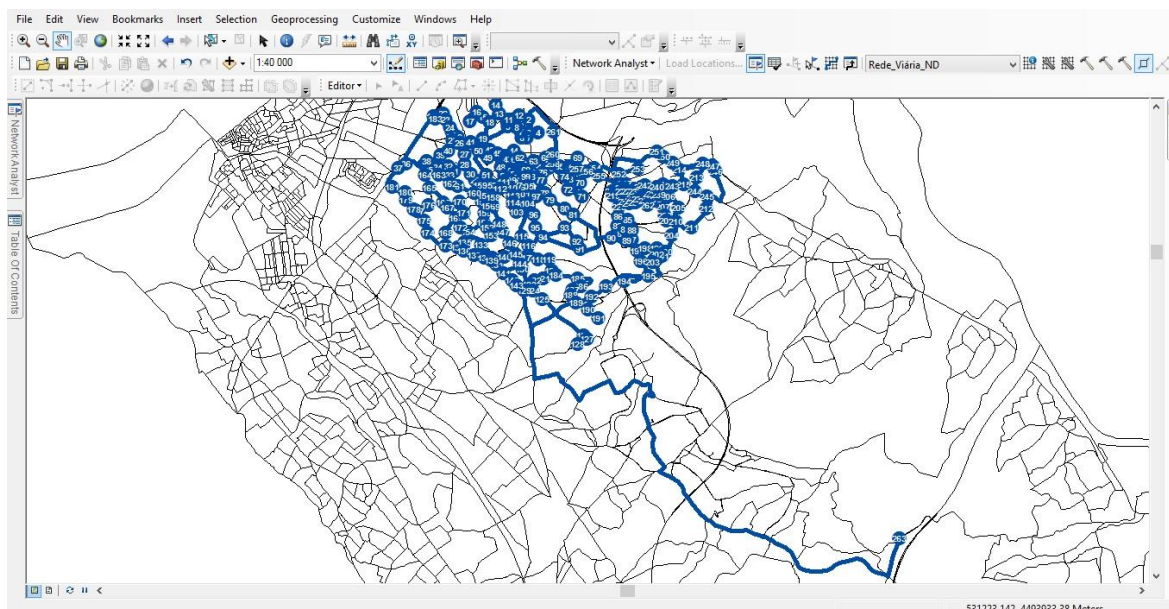


Figura 6.3 – Representação do percurso obtido (Cenário 1)

A Figura 6.4 apresenta o resultado final no cálculo do percurso para o Cenário 1.

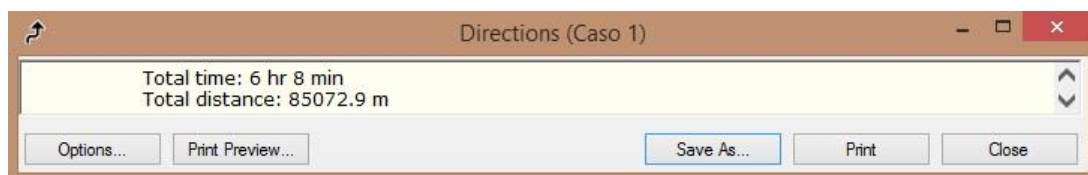


Figura 6.4 – Resultado obtido no cálculo do percurso (Cenário 1)

É possível observar que, ao visitar cada local de recolha, foram percorridos 85073 metros, ocupando um tempo de 6 horas e 08 minutos.

### 6.1.2 CENÁRIO 2

Com base na mesma impedância, ao Cenário 1 foi adicionado o tempo de serviço, ou seja, o tempo de paragem para recolha em cada local. Este tempo de paragem em cada

local depende do número de contentores presentes, tendo sido fixado em 0,5 min/contentor.

A Figura 6.5 representa as propriedades definidas para o cálculo do percurso. Desta forma, a impedância utilizada foi a distância, em metros; foi definida as 06:00 como a hora de início do percurso; foram permitidas inversões de marcha;

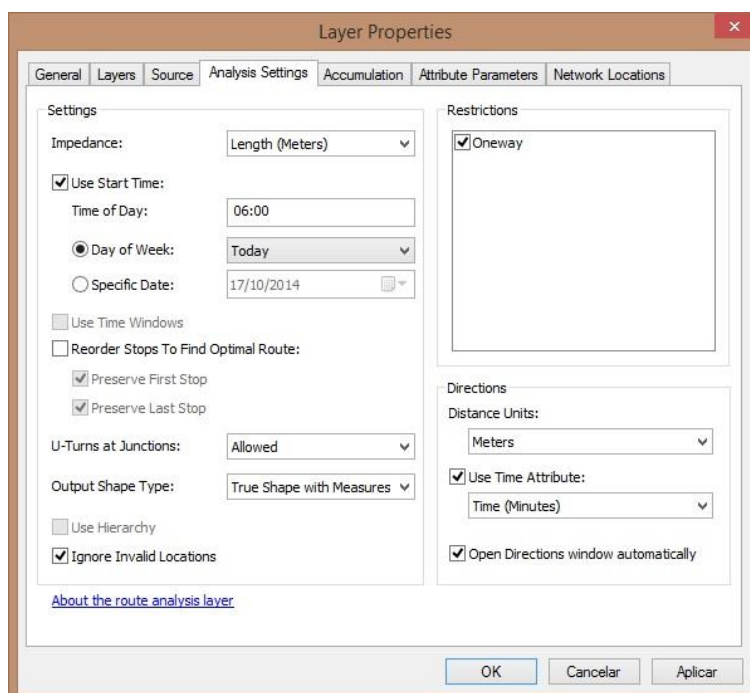


Figura 6.5 – Propriedades definidas no cálculo do percurso (Cenário 2)

A Figura 6.6 representa o percurso obtido. Não existindo reordenação dos pontos e tendo sido acrescentado o tempo de serviço em cada local de recolha, o percurso é exatamente o mesmo que o cenário anterior. Espera-se assim que altere apenas o tempo total utilizado.

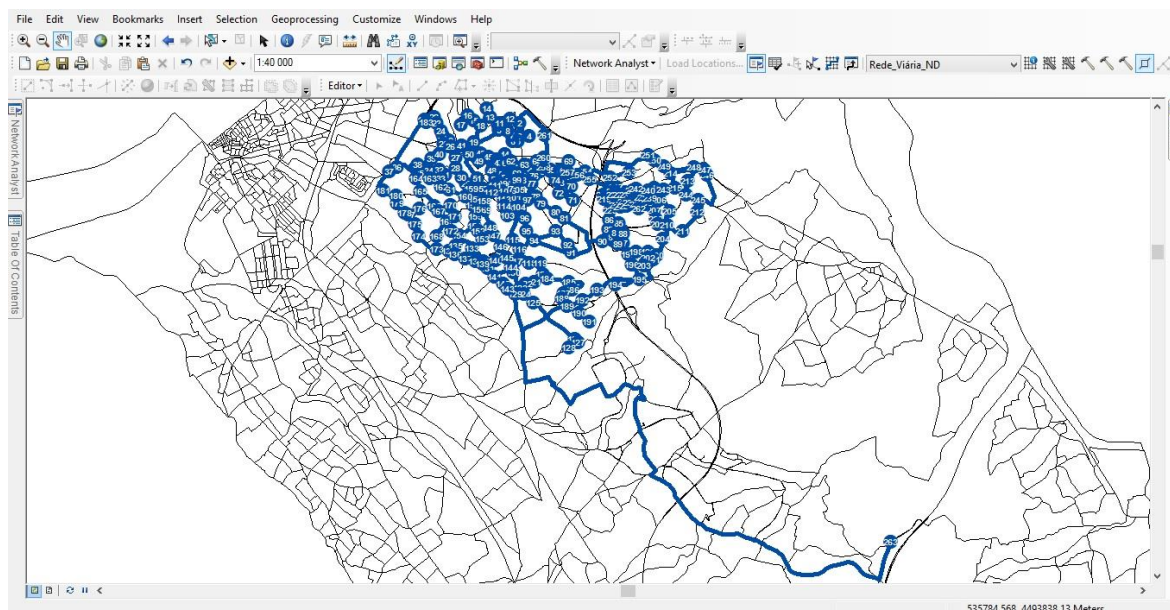


Figura 6.6 – Representação do percurso obtido (Cenário 2)

A Figura 6.7 apresenta o resultado final no cálculo do percurso para o Cenário 2.

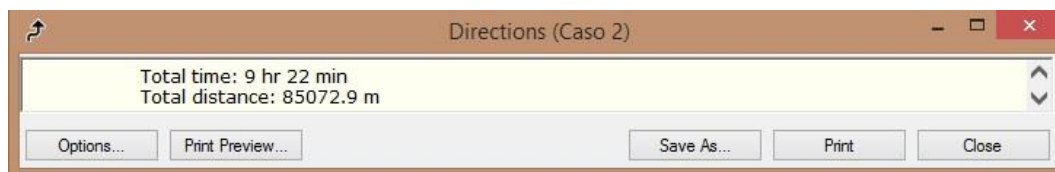


Figura 6.7 – Resultado obtido no cálculo do percurso (Cenário 2)

É possível observar que, ao visitar cada local de recolha, foram percorridos 85073 metros, idêntico ao cenário anterior, mas dispendendo 9 horas e 22 minutos.

### 6.1.3 CENÁRIO 3

Este cenário é semelhante ao Cenário 2, mas corresponde a um cenário já otimizado. O percurso é calculado com base na mesma impedância, o tempo de serviço é de 0,5 min/contentor, mas o conjunto de pontos a visitar é reordenado, preservando os pontos inicial e final do percurso (ERSUC).

A Figura 6.8 representa as propriedades definidas para o cálculo do percurso. Desta forma, a impedância utilizada foi a distância, em metros; foi definida as 06:00 como a

hora de início do percurso; foram reordenados os pontos de visita, preservando o primeiro e último pontos; foram permitidas inversões de marcha;

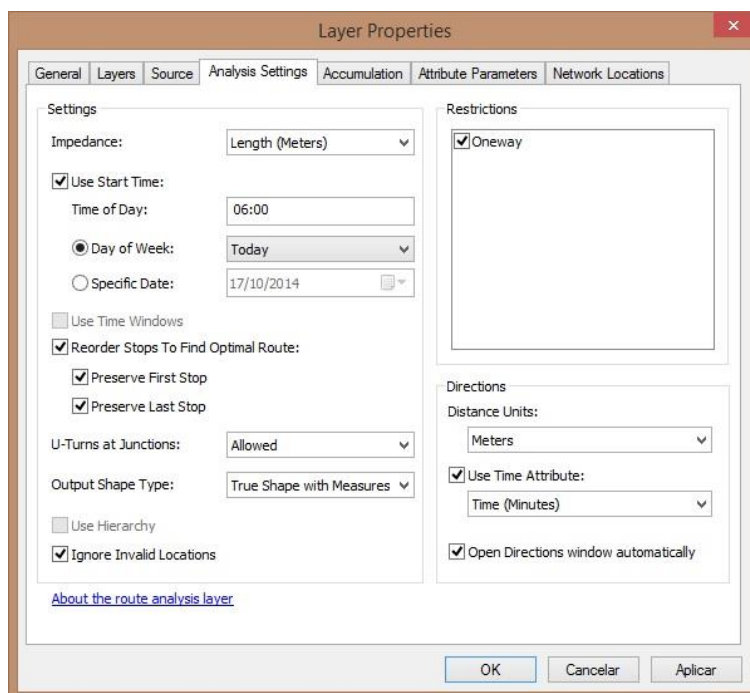


Figura 6.8 – Propriedades definidas no cálculo do percurso (Cenário 3)

A Figura 6.9 representa o percurso obtido. Existindo reordenação dos pontos, é de reparar que o percurso é traçado já não respeita a ordem inicial dada pelos ID\_Local dos locais de recolha. O *software* automaticamente reordena a sequência de visita de cada local, de forma a otimizar o percurso efetuado.

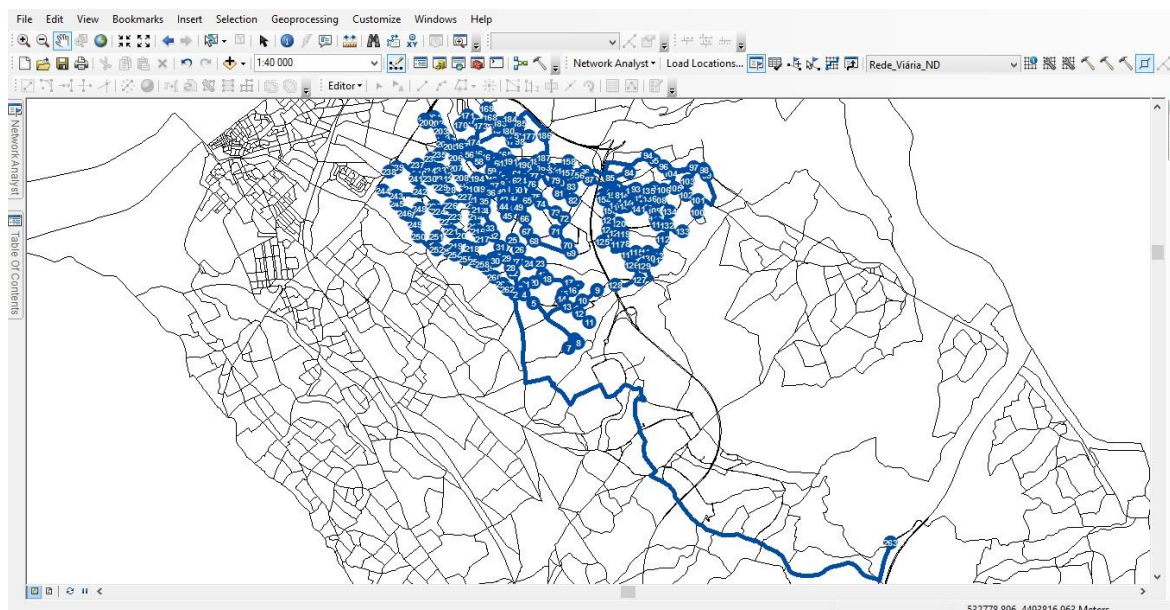


Figura 6.9 – Representação do percurso obtido (Cenário 3)

A Figura 6.10 apresenta o resultado final no cálculo do percurso para o Cenário 3.

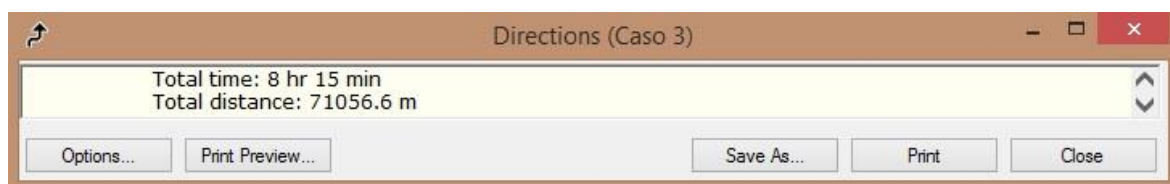


Figura 6.10 – Resultado obtido no cálculo do percurso (Cenário 3)

É possível observar que, no âmbito do Cenário 3, o veículo de recolha percorreu 71057 metros, dispendendo 8 horas e 15 minutos.

#### 6.1.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 6.1 resume os resultados finais de cada um dos cenários em estudo.

Tabela 6.1 – Resultados finais de cada cenário

	Distância (m)	Tempo (h, min)	Ponto Inicial	ID_Local inicial	ID_Local final	Ponto final
Cenário 1	85073	6 h 08 min	ERSUC	1	259	ERSUC
Cenário 2	85073	9 h 22 min	ERSUC	1	259	ERSUC
Cenário 3	71057	8 h 15 min	ERSUC	126	140	ERSUC

Cada um destes cenários parte de um ponto inicial, a estação de tratamento de resíduos, pretende percorrer um conjunto de 261 locais de recolha e regressar a um ponto final, que coincide com o ponto inicial. Assim, ao longo dos três cenários variam as distâncias e os tempos, devido aos critérios que foram sendo introduzidos.

Como já foi mencionado anteriormente, a aplicação *Route* apenas otimiza com base numa única impedância. Ou seja, se a impedância selecionada for a distância, o resultado final do percurso traçado será o valor da distância percorrida e tempo utilizado nesse mesmo trajeto. Por outro lado, esta aplicação não envolve as quantidades que são recolhidas em cada local de recolha, nem a capacidade do veículo. Isto é, apenas é útil quando se pretende percorrer um dado conjunto de pontos e se pretende saber, com base num certo atributo (tempo ou distância), qual é o melhor trajeto face a esse mesmo atributo.

Nos três cenários apresentados a impedância considerada foi a distância, em metros. Se tivessem sido apresentados os mesmos cenários com a utilização do tempo como impedância, os valores não iriam variar significativamente, uma vez que, com base na rede viária, existem poucas alternativas que façam depender, de forma expressiva, as distâncias percorridas e os tempos utilizados.

Observando os dados em geral, é de reparar que as grandes diferenças de valores obtidas entre os cenários se devem à existência de reordenação dos pontos de visita, otimizando o percurso e à adição do tempo de serviço em cada local.

Após a utilização desta funcionalidade, é possível concluir que esta não é a melhor escolha para otimizar um percurso de recolha de resíduos, porque não envolve as quantidades a recolher e porque depende apenas de uma impedância. No entanto, a reordenação dos locais de visita torna-se um fator importantíssimo, uma vez que, o veículo passava em alguns locais e teria de lá voltar para recolher alguns contentores de ID\_Local posterior.

Por outro lado, também foi possível demonstrar que esta aplicação é importante quando se tem um dado conjunto de pontos que se pretende visitar, e cujo objetivo é encontrar o percurso mais curto ou mais rápido para o fazer.

Por fim, qualquer que seja a funcionalidade utilizada, o circuito otimizado dependerá sempre da realidade, isto é, da hora e do dia a que a recolha é feita, do tráfego presente, da presença de acidentes ou contratempos na via pública, etc.

## **6.2 PROBLEMA DO PERCURSO DE VEÍCULOS (*VEHICLE ROUTING PROBLEM*)**

Nesta secção são apresentados diferentes cenários tendo em vista ilustrar como funciona a aplicação da funcionalidade *VRP* do *Network Analyst*, tendo consciência que os resultados dependem, inevitavelmente, dos critérios impostos pelo utilizador do *software*. Por outro lado, é necessário saber que o traçar de qualquer percurso utilizando esta funcionalidade, acaba por ser sempre uma otimização, uma vez que a sequência dos pontos de visitas é sempre reordenada.

A definição dos diferentes cenários foi feita aplicando o *VRP* de forma a aumentar a exigência e o rigor do processo de otimização, dependendo do conjunto de critérios considerados em simultâneo.

Serão apresentados sempre dois casos, um para as segundas-feiras e outro para os restantes dias. Optou-se por esta diferenciação, uma vez que, não havendo recolha ao domingo, as quantidades recolhidas às segundas-feiras são bastante diferentes dos restantes dias.

Como características gerais, o *VRP* irá otimizar um percurso com base na distância (metros) e no tempo (minutos).

Para o local de paragem do veículo/descarga de resíduos que corresponde ao ponto inicial, de paragem intermédia e final de cada percurso (instalações da ERSUC em Eirol), o nome utilizado no *software* para sua identificação foi ERSUC.

### **6.2.1 ENSAIO DE APLICAÇÃO DO *VRP* ENVOLVENDO AS QUANTIDADES RECOLHIDAS, O TEMPO E A DISTÂNCIA (CENÁRIO 4)**

O Cenário 4 envolve a aplicação do *VRP* com os seguintes pressupostos:

- Locais de recolha disponíveis na via pública ou junto dela;

- Capacidade máxima de carga do veículo: 12 000 kg
- Parâmetros de tempo e velocidade apurados com base em cálculos, como mencionado em 5.7.1;
- Quantidade de resíduos a recolher é determinada com base nos dados médios de setembro de 2011, mas considerando dois casos: para as segundas-feiras (Cenário 4.1) e para os restantes dias (Cenário 4.2).

#### 6.2.1.1 CENÁRIO 4.1

No Cenário 4.1 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 24250 kg/dia.

A Figura 6.11 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste percurso:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (12000 kg)



Attribute	Value
ObjectID	2
Name	VRP_2afeira
Description	<Null>
StartDepotName	ERSUC
EndDepotName	ERSUC
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	06:00:00
LatestStartTime	06:00:00
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	12000
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	<Null>
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	300
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include

Figura 6.11 – Atributos do Percurso 4 (Cenário 4.1)

O percurso apresentado na Figura 6.12 representa a saída do local onde o veículo se encontra, realização do percurso com as várias idas a Eirol para descarregar os resíduos e regresso final ao mesmo local de partida.

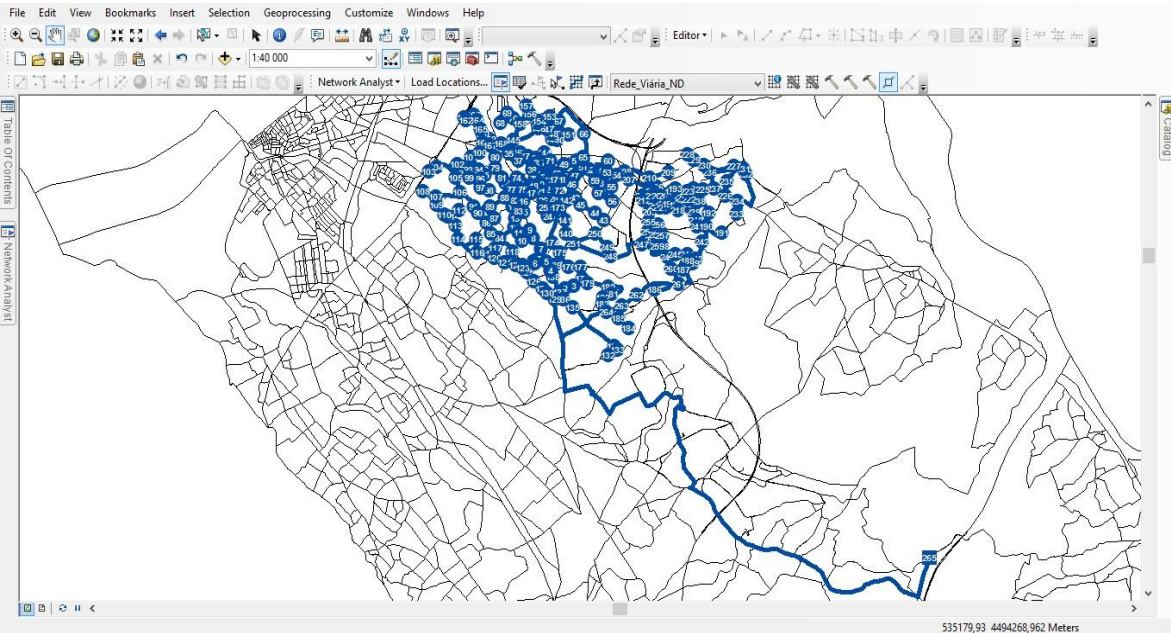


Figura 6.12 – Representação do Percurso 4 (Cenário 4.1)

O percurso efetuado envolve três voltas com duas idas intermédias à ERSUC para descarregar os resíduos, devido à imposição da restrição da capacidade. As Figuras 6.13, 6.14 e 6.15 descrevem os locais de recolha que são abrangidos nas três voltas/circuitos.

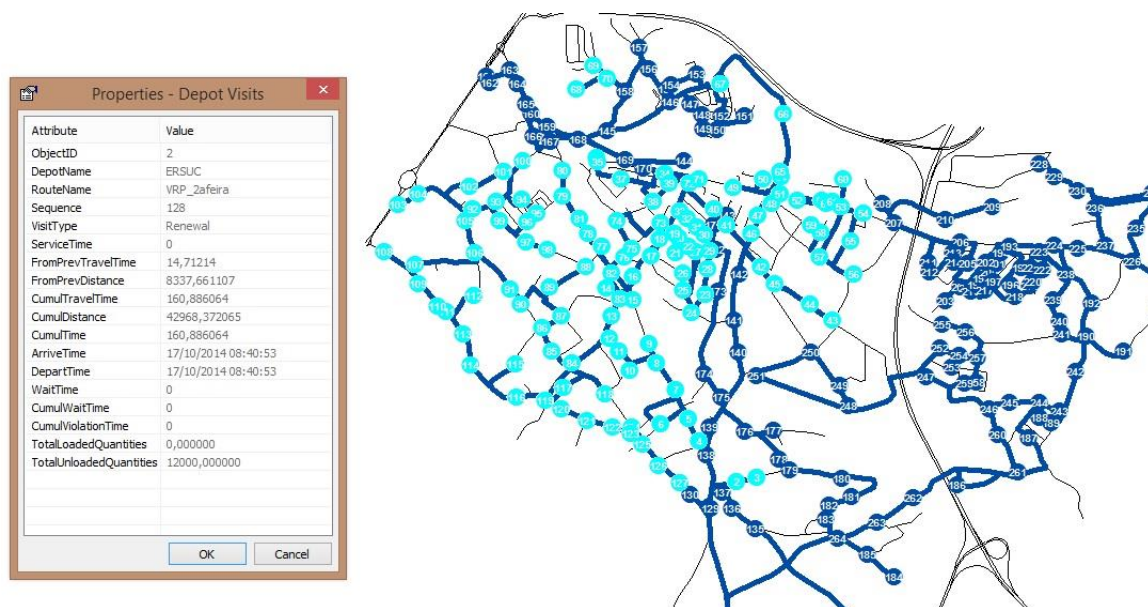


Figura 6.13 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 4.1)

A primeira volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem por 126 locais de recolha; recolha de 12000 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo com chegada às 08:40:53. Nesta primeira volta foram percorridos 42969 metros, utilizando um tempo de 161 minutos.

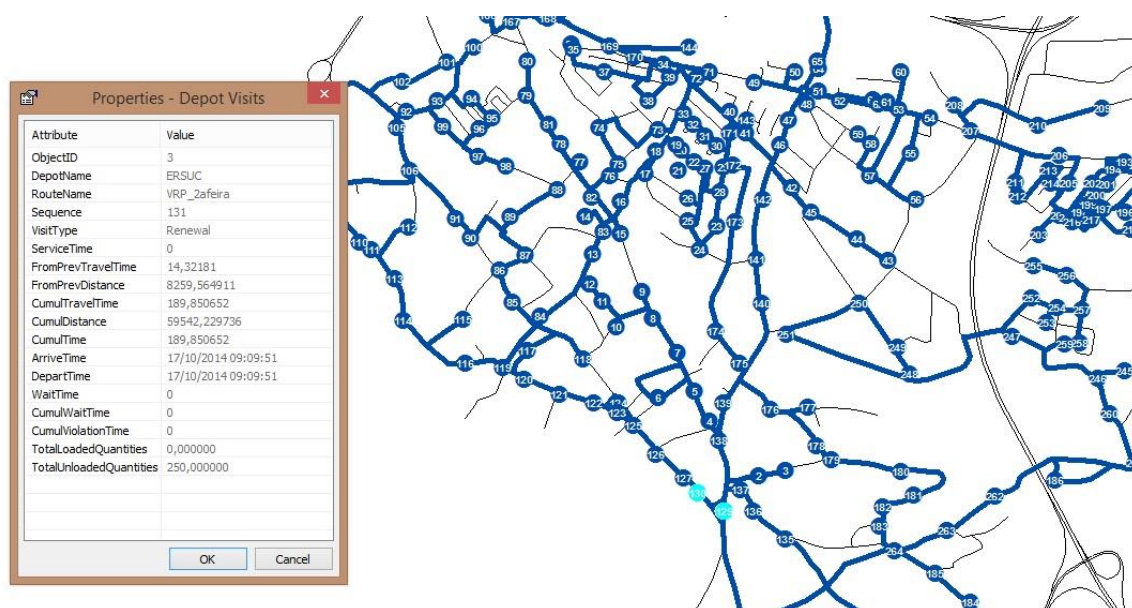


Figura 6.14 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 4.1)

A segunda volta envolve a saída da ERSUC às 08:40:53; passagem por 2 locais de recolha; recolha de 250 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo às 09:09:51. Nesta segunda volta foram percorridos 16574 metros, utilizando um tempo de 29 minutos.

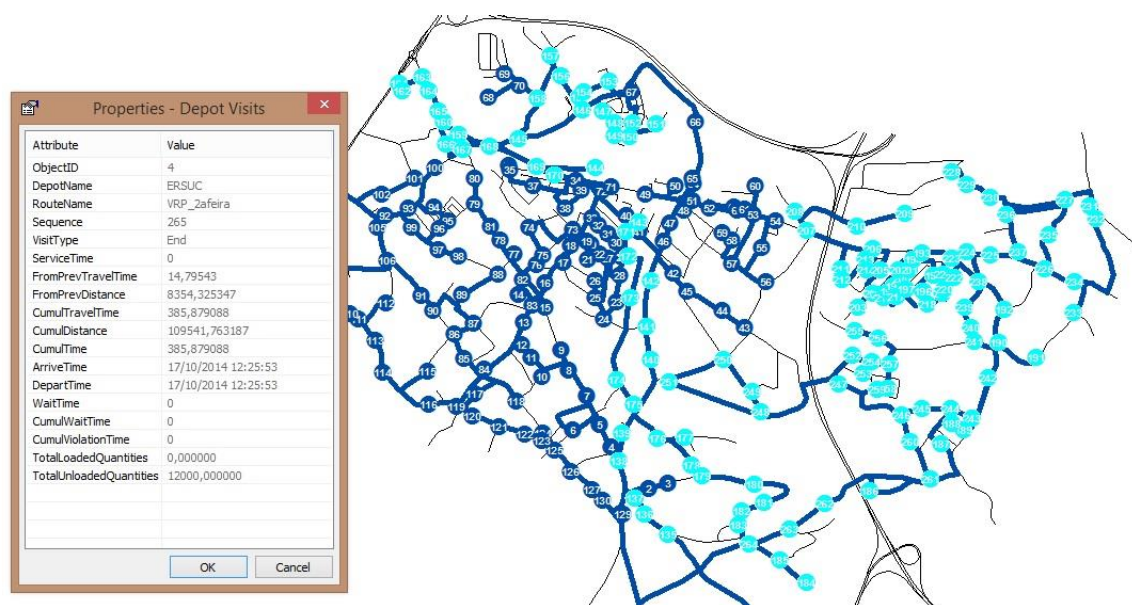


Figura 6.15 – Representação dos locais de recolha abrangidos na terceira volta (Cenário 4.1)

A última volta envolve a saída da ERSUC às 09:09:51; passagem pelos restantes 133 locais de recolha; recolha de 12000 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 12:25:53. Nesta terceira volta foram percorridos 49999 metros, utilizando um tempo de 196 minutos.

A Figura 6.16 apresenta o resultado final do Cenário 4.1.

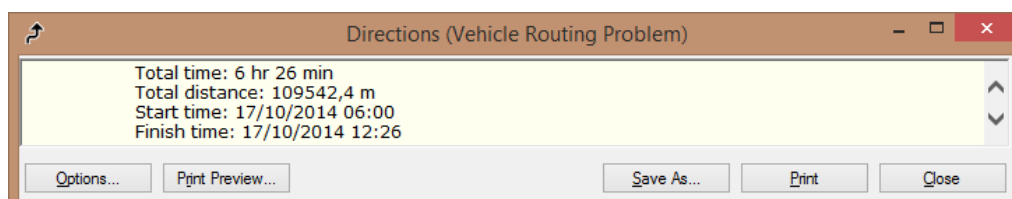


Figura 6.16 – Resultado de aplicação do VRP do Percurso 4 (Cenário 4.1)

O percurso envolveu o percorrer de 109542 metros em 6 horas e 26 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 12:26.

#### 6.2.1.2 CENÁRIO 4.2

No Cenário 4.2 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 13161 kg/dia.

A Figura 6.17 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste percurso:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (12000 kg)



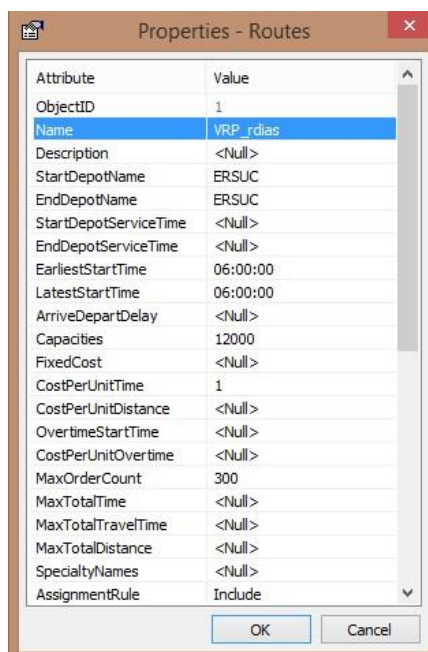


Figura 6.17 – Atributos do Percurso 4 (Cenário 4.2)

O percurso apresentado na Figura 6.18 representa a saída da ERSUC, realização do percurso com as várias idas à ERSUC para descarregar os resíduos e regresso final à mesma.

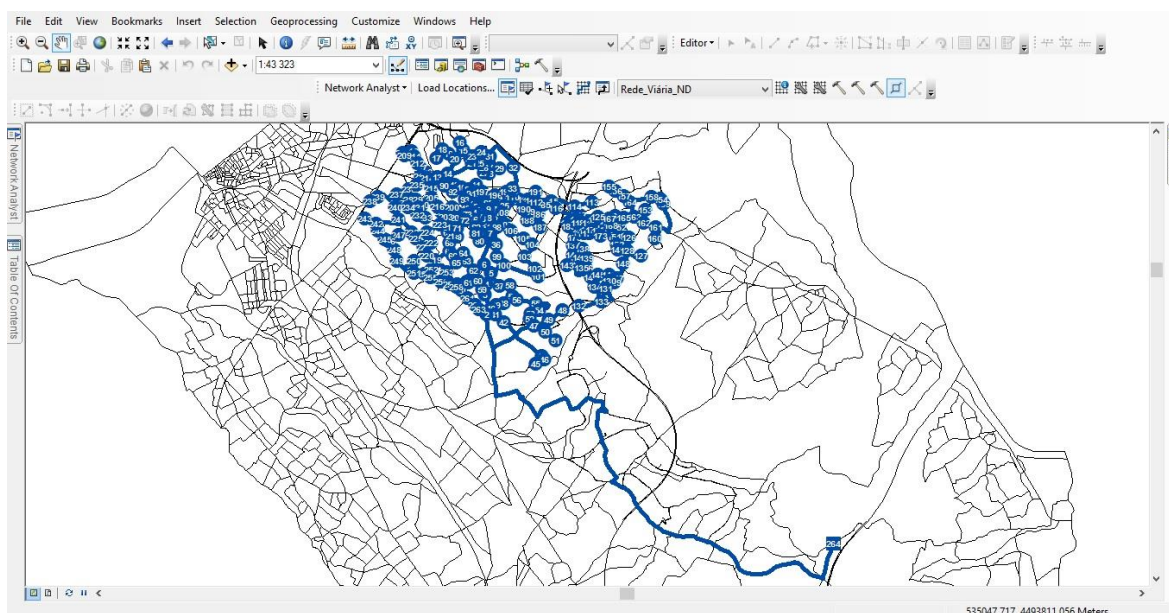


Figura 6.18 – Representação do Percurso 4 (Cenário 4.2)

O percurso efetuado envolve duas voltas com uma ida intermédia à ERSUC para descarregar os resíduos, devido à restrição da capacidade. As Figuras 6.19 e 6.20 descrevem os locais de recolha que são abrangidos nas duas voltas/circuitos.

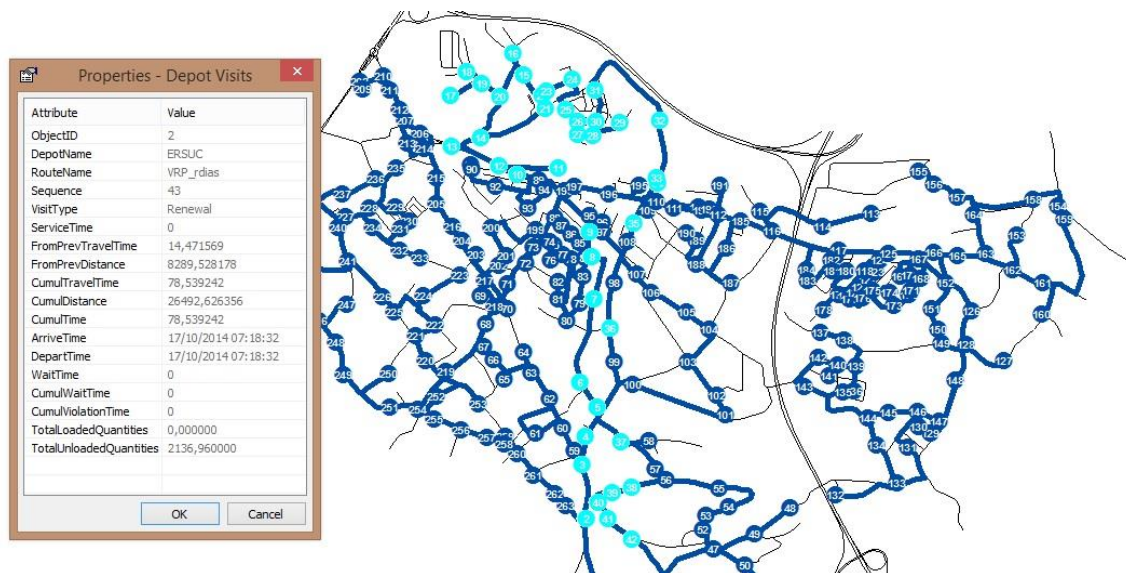


Figura 6.19 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 4.2)

A primeira volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem por 41 locais de recolha; recolha de 2137 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo às 07:18:32. Nesta primeira volta foram percorridos 26493 metros, utilizando um tempo de 79 minutos.

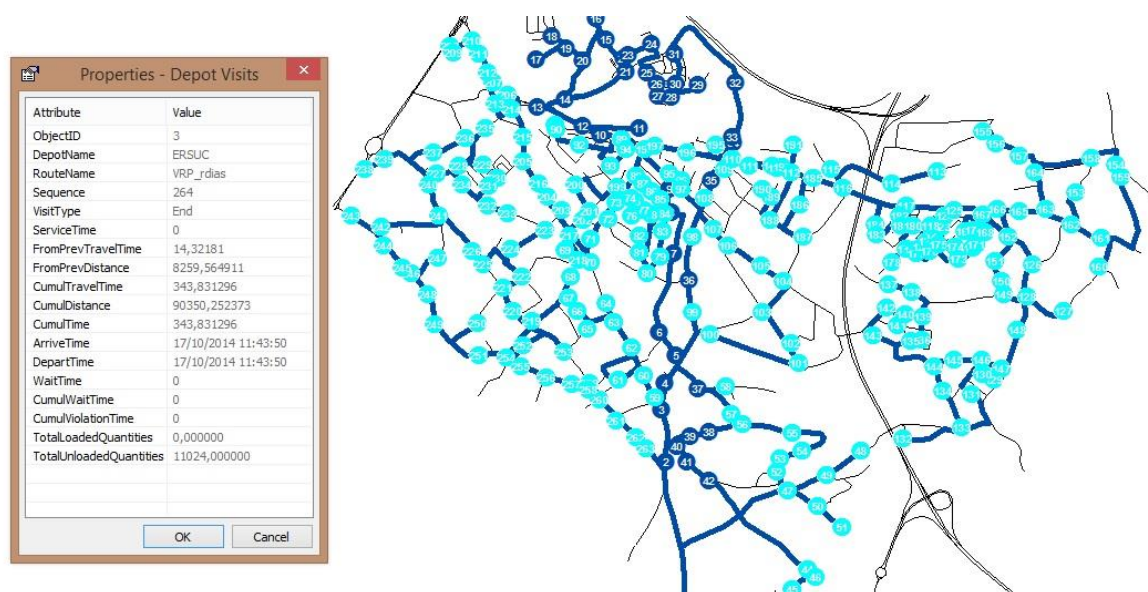


Figura 6.20 – Representação dos locais de recolha na segunda volta (Cenário 4.2)

A segunda e última volta envolve a saída da ERSUC às 07:18:32; passagem por 220 locais de recolha; recolha de 11024 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 11:43:50. Nesta segunda volta foram percorridos 63858 metros, utilizando um tempo de 265 minutos.

A Figura 6.21 apresenta o resultado final do Cenário 4.2.

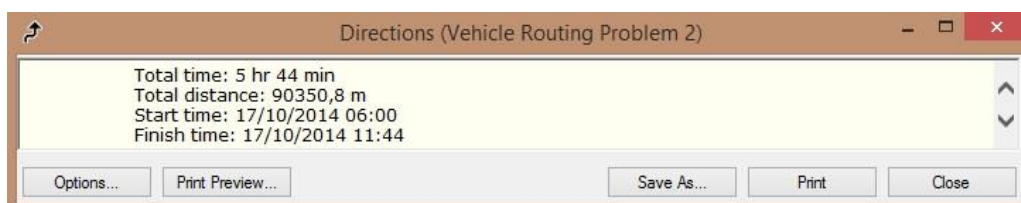


Figura 6.21 – Resultado de aplicação do VRP ao Percurso 4 (Cenário 4.2)

O percurso envolveu o percorrer de 90351 metros em 5 horas e 44 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 11:44.

#### 6.2.1.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 4

O Cenário 4 apresentado envolve a otimização com base apenas nas quantidades recolhidas em cada local de recolha, na distância percorrida e no tempo utilizado. Por outro lado, a capacidade do veículo é sempre 12000 kg.

A Tabela 6.2 apresenta um resumo dos valores obtidos na aplicação do *VRP* do Percurso 4 estudado.

Tabela 6.2 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 4

	Cenário 4.1	Cenário 4.2
Nome do circuito	VRP_2afeira	VRP_rdias
Capacidade do veículo (kg)	12000	12000
Distância total (m)	109542	90351
Tempo total (h, min)	6 h 26 min	5 h 44 min
Hora de início	06:00	06:00
Hora de fim	12:26	11:44
Nº de voltas	3	2
Quantidade recolhida na 1ª volta (kg)	12000	2137
Quantidade recolhida na 2ª volta (kg)	250	11024
Quantidade recolhida na 3ª volta (kg)	12000	-
Nº de pontos visitados na 1ª volta	126	41
Nº de pontos visitados na 2ª volta	2	220
Nº de pontos visitados na 3ª volta	133	-
Ponto inicial	ERSUC	ERSUC
Ponto final	ERSUC	ERSUC
Sequência de visita	119,118,141,142,137,143,144...	126,127,114,113,112,101,102...

Através da análise da tabela apresentada, é possível observar que no Cenário 4.1, que envolve recolher quantidades superiores de resíduos, a distância percorrida e o respetivo tempo são também superiores, como seria de esperar, uma vez que, envolve uma ida adicional à ERSUC para descarregar o veículo, quando comparado com o Cenário 4.2.

Pelo facto de um veículo carregar até 12000 kg de cada vez, duas voltas não são suficientes para carregar os resíduos a recolher no Cenário 4.1. Desta forma, este envolve três circuitos, sendo que o segundo inclui a passagem por apenas 2 locais de recolha, recolhendo 250 kg.

Especificamente na primeira volta do Cenário 4.1, a área que abrange os locais de recolha encontra-se mais ou menos bem definida. No entanto, aparecem alguns pontos afastados que foram selecionados para esta primeira volta pelas quantidades a recolher e pelos sentidos de circulação permitidos. O primeiro local de recolha deste circuito é um dos pontos mais próximos das instalações da ERSUC, assim como o último local visitado.



No segundo circuito, como já foi mencionado, o veículo visita apenas 2 locais de recolha, efetuando uma ida e volta à ERSUC para descarregar 250 kg de resíduos.

Na terceira volta, onde o veículo percorre 133 locais, recolhendo 12000 kg, a área definida abrange três pequenas áreas bem distintas.

Para o Cenário 4.2, a primeira volta envolve uma quantidade de resíduos mais baixa e onde a área definida, volta a começar num ponto mais próximo, afastando-se para visitar os restantes pontos e aproximando-se novamente para o último ponto. No segundo circuito os restantes pontos são recolhidos, onde o veículo carrega 11024 kg, correspondendo a grande parte da área total do percurso RSU I 06.

A sequência de visita aos locais do Cenário 4.1 é diferente do Cenário 4.2. Este facto varia, uma vez que, a quantidade de resíduos do Cenário 4.1 é muito superior à do caso Cenário 4.2. Assim, o *software* acaba por ter que reordenar a ordem de visita dos pontos já que são necessárias três voltas para recolher a totalidade dos resíduos.

Por fim, relativamente aos tempos utilizados em ambos os casos, é necessário ter consciência que não são envolvidos tempos de paragem em cada local de recolha e tempo para descarregar o veículo no destino final quando este atinge a sua capacidade máxima.

#### *6.2.2 ENSAIO DE APLICAÇÃO DO VRP COM ADIÇÃO DO SERVICE TIME PARA CADA LOCAL DE RECOLHA E PARA A DESCARGA DO VEÍCULO (CENÁRIO 5)*

O Cenário 5 envolve a aplicação do *VRP* com os seguintes pressupostos:

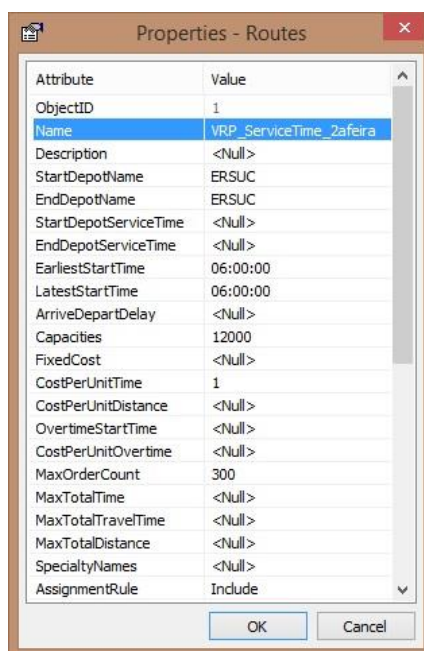
- Locais de recolha disponíveis na via pública ou junto dela;
- Capacidade máxima de carga do veículo: 12 000 kg
- Adição do tempo de serviço em cada local de recolha (0,5 min/contentor) e do tempo gasto para descarregar o veículo no destino final (15 min);
- Parâmetros de tempo e velocidade apurados com base em cálculos, como mencionado em 5.7.1;
- Quantidade de resíduos a recolher é determinada com base nos dados médios de setembro de 2011, mas considerando dois casos: para as segundas-feiras (Cenário 5.1) e para os restantes dias (Cenário 5.2).

### 6.2.2.1 CENÁRIO 5.1

No Cenário 5.1 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 24250 kg/dia.

A Figura 6.22 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste percurso:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (12000 kg)



Attribute	Value
ObjectID	1
Name	VRP_ServiceTime_2afeira
Description	<Null>
StartDepotName	ERSUC
EndDepotName	ERSUC
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	06:00:00
LatestStartTime	06:00:00
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	12000
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	<Null>
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	300
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include

Figura 6.22 – Atributos do Percurso 5 (Cenário 5.1)

O percurso apresentado na Figura 6.23 representa a saída da ERSUC, realização do percurso com as várias idas à ERSUC para descarregar os resíduos e regresso final à mesma.

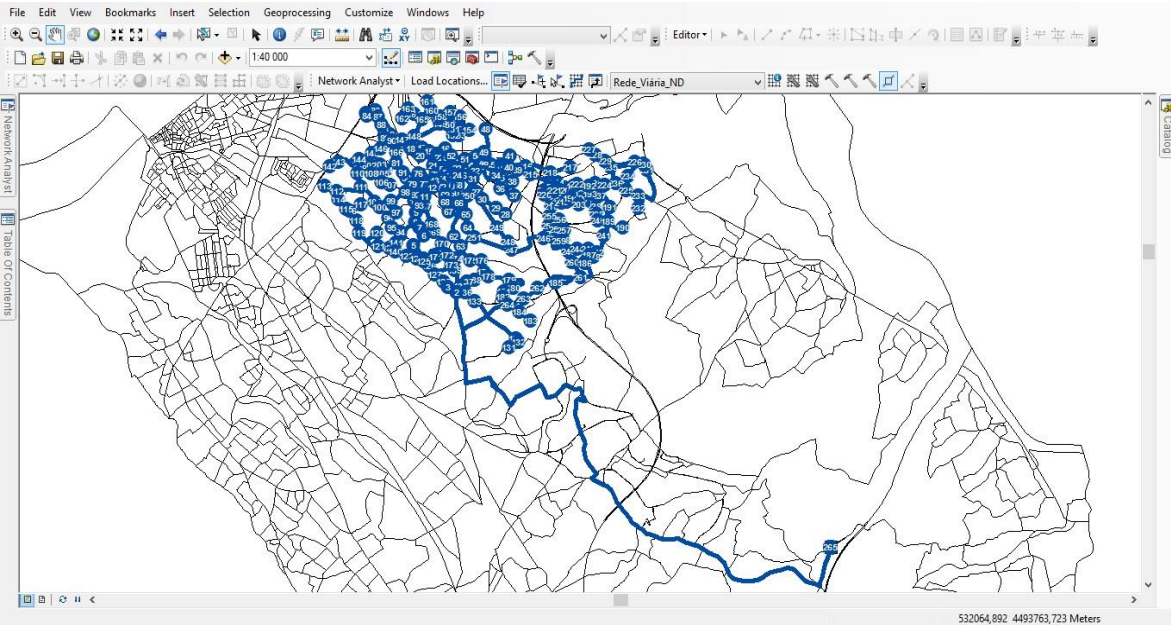


Figura 6.23 – Representação do Percurso 5 (Cenário 5.1)

Novamente, o percurso efetuado envolve três voltas com duas idas intermédias à ERSUC para descarregar os resíduos, devido à restrição da capacidade. As Figuras 6.24, 6.25 e 6.26 descrevem os locais de recolha que são abrangidos nas três voltas ou circuitos.

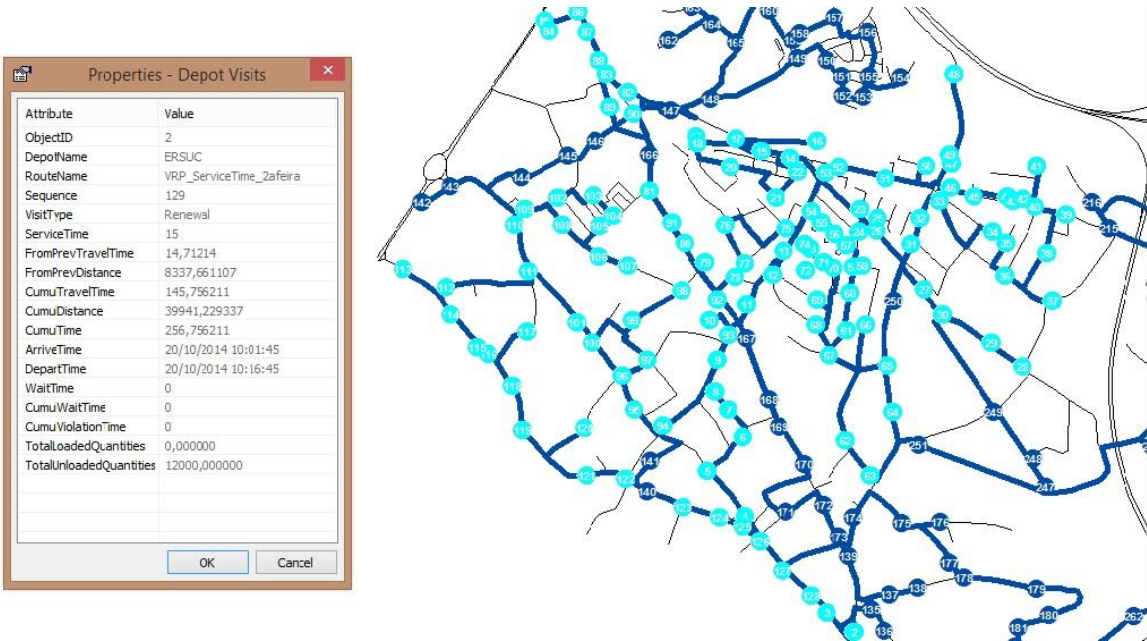


Figura 6.24 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 5.1)

A primeira volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem por 127 locais de recolha; recolha de 12000 kg de resíduos; regresso à ERSUC onde permanece durante 15 minutos para descarregar o veículo às 10:01:45. Nesta primeira volta foram percorridos 39941 metros, utilizando um tempo de 257 minutos.

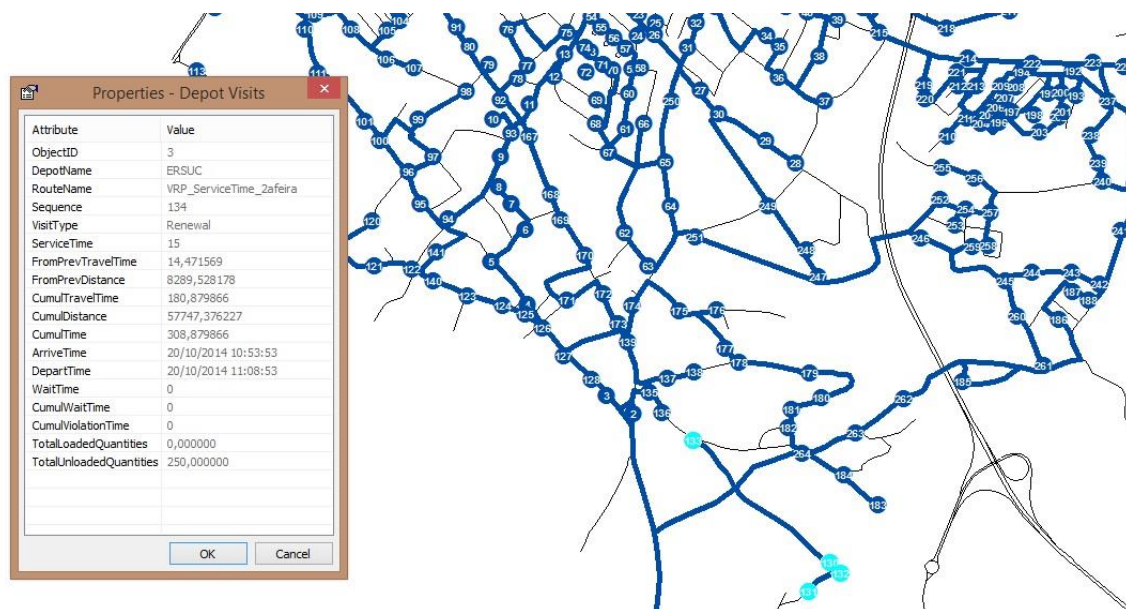


Figura 6.25 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 5.1)

A segunda volta envolve a saída da ERSUC às 10:16:45; passagem por 4 locais de recolha; recolha de 250 kg de resíduos; regresso à ERSUC onde permanece durante 15 minutos para descarregar o veículo às 10:53:53. Nesta segunda volta foram percorridos 17806 metros, utilizando um tempo de 52 minutos.

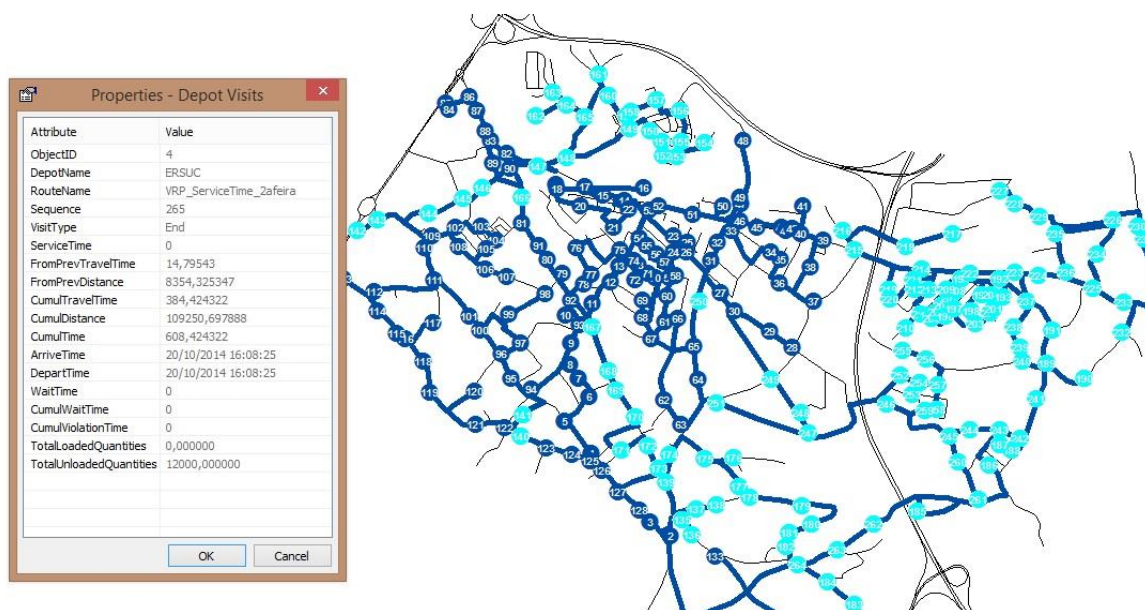


Figura 6.26 – Representação dos locais de recolha abrangidos na terceira volta (Cenário 5.1)

A terceira e última volta envolve a saída da ERSUC às 11:08:53; passagem pelos restantes 130 locais de recolha; recolha de 12000 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 16:08:25. Nesta terceira volta foram percorridos 51503 metros, utilizando um tempo de 299 minutos.

A Figura 6.27 apresenta o resultado final do Cenário 5.1.

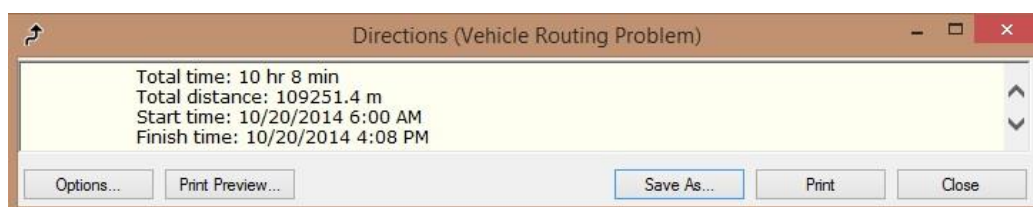


Figura 6.27 – Resultado de aplicação do *VRP* do Percurso 5 (Cenário 5.1)

O percurso envolveu o percorrer de 109251 metros em 10 horas e 08 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 16:08.

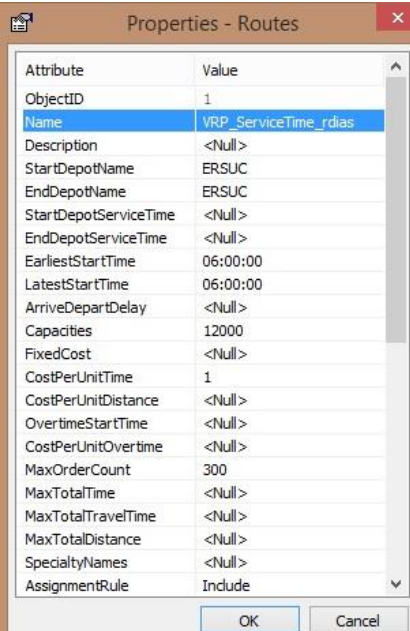
#### 6.2.2.2 CENÁRIO 5.2

No Cenário 5.2 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 13161 kg/dia.



A Figura 6.28 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste percurso:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (12000 kg)



Attribute	Value
ObjectID	1
Name	VRP_ServiceTime_rdias
Description	<Null>
StartDepotName	ERSUC
EndDepotName	ERSUC
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	06:00:00
LatestStartTime	06:00:00
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	12000
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	<Null>
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	300
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include

Figura 6.28 – Atributos do Percurso 5 (Cenário 5.2)

O percurso apresentado na Figura 6.29 representa a saída da ERSUC, realização do percurso com as várias idas à ERSUC para descarregar os resíduos e regresso final à mesma.

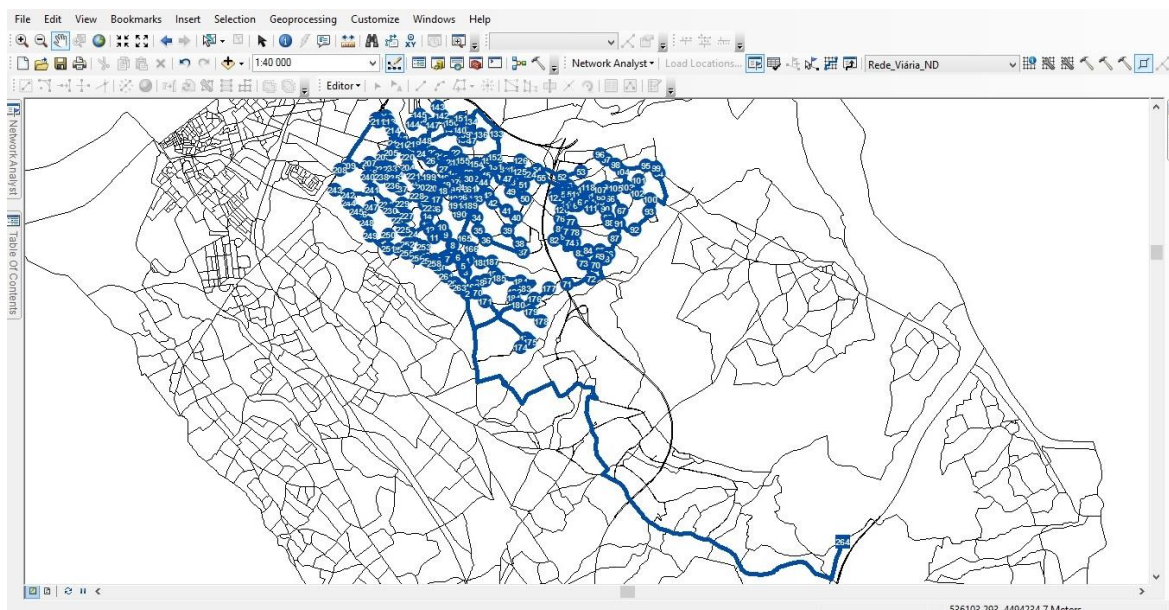


Figura 6.29 – Representação do Percurso 5 (Cenário 5.2)

O percurso efetuado envolve duas voltas com uma ida intermédia à ERSUC para descarregar os resíduos, devido à restrição da capacidade. As Figuras 6.30 e 6.31 descrevem os locais de recolha que são abrangidos nas duas voltas ou circuitos.

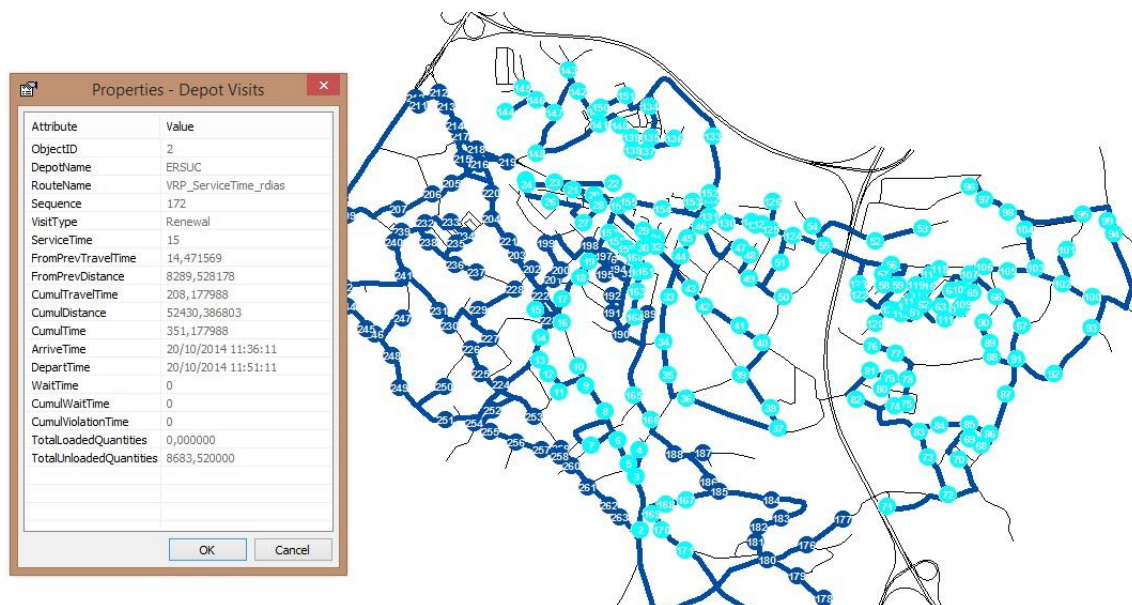


Figura 6.30 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 5.2)

A primeira volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem por 170 locais de recolha; recolha de 8684 kg de resíduos; regresso à ERSUC onde permanece durante 15

minutos para descarregar o veículo às 11:36:11. Nesta primeira volta foram percorridos 52430 metros, utilizando um tempo de 351 minutos.

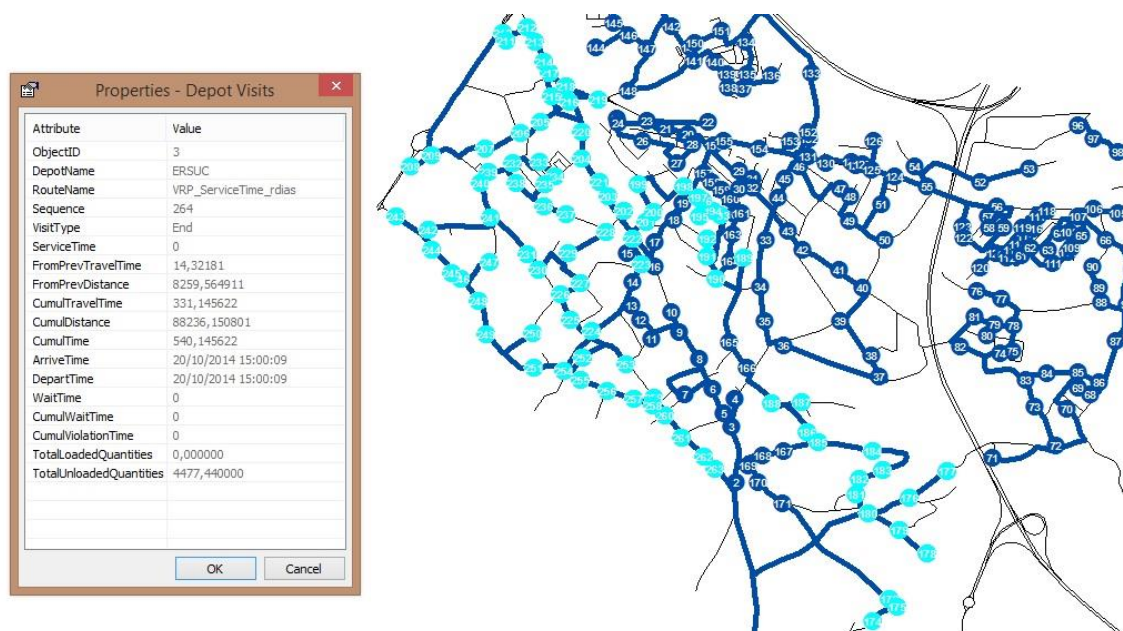


Figura 6.31 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 5.2)

A segunda volta envolve a saída da ERSUC às 11:51:11; passagem por 91 locais de recolha; recolha de 4477 kg de resíduos; regresso à ERSUC onde permanece durante 15 minutos para descarregar o veículo às 15:00:09. Nesta segunda volta foram percorridos 35806 metros, utilizando um tempo de 189 minutos.

A Figura 6.32 apresenta o resultado do Cenário 5.2.

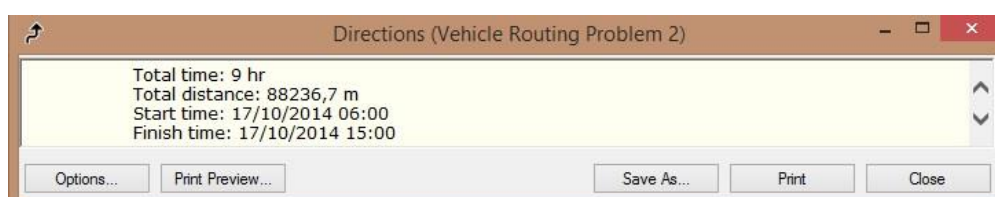


Figura 6.32 – Resultado de aplicação do VRP do Percurso 5 (Cenário 5.2)

O percurso envolveu o percorrer de 88237 metros em 9 horas. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 15:00.



### 6.2.2.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 5

O Cenário 5 apresentado envolve a otimização com base nas quantidades recolhidas em cada local de recolha, na distância percorrida, no tempo utilizado e no tempo de serviço em cada local e descarga do veículo. Para descarregar o veículo nas instalações da ERSUC são utilizados 15 minutos, enquanto que para cada contentor, o tempo gasto é de 30 segundos. Assim, para cada local de recolha, o tempo utilizado depende do número de contentores dispostos nesse mesmo local. Por outro lado, a capacidade do veículo é sempre 12000 kg.

A Tabela 6.3 apresenta um resumo dos valores obtidos na aplicação do *VRP* do Cenário 5 estudado.

Tabela 6.3 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 5

	Cenário 5.1	Cenário 5.2
Nome do circuito	VRP_ServiceTime_2afeira	VRP_ServiceTime_rdias
Capacidade do veículo (kg)	12000	12000
Distância (m)	109251	88237
Tempo (h, min)	10 h 08 min	9 h
Hora de início	06:00	06:00
Hora de fim	16:08	15:00
Nº de voltas	3	2
Quantidade recolhida na 1ª volta (kg)	12000	8684
Quantidade recolhida na 2ª volta (kg)	250	4477
Quantidade recolhida na 3ª volta (kg)	12000	-
Nº de pontos visitados na 1ª volta	127	170
Nº de pontos visitados na 2ª volta	4	91
Nº de pontos visitados na 3ª volta	130	-
Ponto inicial	ERSUC	ERSUC
Ponto final	ERSUC	ERSUC
Sequência de visita	126,140,129,130,150,149,152...	126,127,114,141,142,137,143...

Analisando a tabela anterior, e como as quantidades recolhidas são superiores para o Cenário 5.1, o tempo utilizado e a distância percorrida são também superiores.

Sendo este percurso uma otimização do primeiro e após a adição dos tempos de serviço, também este envolve no cenário 5.1, três circuitos; na primeira volta, o veículo de recolha

carrega 12000 kg abrangendo a quantidade de resíduos de 127 locais de recolha; na segunda parte do percurso e como acontece no Cenário 4, o veículo efetua uma ida à ERSUC para descarregar apenas 250 kg, de 4 locais de recolha; por fim, no terceiro circuito foram recolhidos 12000 kg dos restantes locais que ainda não tinham sido visitados.

Para o Cenário 5.2, na primeira volta são recolhidos 8684 kg de 170 locais de recolha, enquanto que na segunda volta são recolhidos os restantes 91 locais, perfazendo um total de 4477 kg de resíduos.

Comparativamente ao Cenário 4, era esperado que neste segundo percurso as distâncias percorridas fossem mais ou menos semelhantes, enquanto que os tempos utilizados para efetuar esse percurso aumentariam. Este facto acabou por se verificar, uma vez que ao Cenário 4 foram adicionados os tempos de serviço de carga dos contentores.

Mais uma vez, é possível observar que os primeiros locais de recolha de cada circuito são os mais próximos do ponto de onde parte o veículo, afastando-se para recolher os restantes pontos e aproximando-se novamente à medida que o circuito termina.

As áreas que abrangem os locais de recolha selecionados para cada circuito não são muito uniformes. Isto é, dentro de uma dada área, há pontos que ficam para ser visitados no circuito seguinte. Este facto pode acontecer devido aos sentidos de circulação na rede ou até mesmo às quantidades a recolher nesses mesmos pontos.

### 6.2.3 ENSAIO DE APLICAÇÃO DO VRP COM ADIÇÃO DO MAXTOTALTIME (CENÁRIO 6)

O Cenário 6 envolve a aplicação do VRP com os seguintes pressupostos:

- Locais de recolha disponíveis na via pública ou junto dela;
- Capacidade máxima de carga do veículo: 12 000 kg
- Tempo de serviço em cada local de recolha (0,5 min/contentor) e tempo gasto para descarregar o veículo no destino final (15 min);
- Adição do tempo total disponível para realização do circuito (405 minutos);
- Parâmetros de tempo e velocidade apurados com base em cálculos, como mencionado em 5.7.1;

- Quantidade de resíduos a recolher é determinada com base nos dados médios de setembro de 2011, mas considerando dois casos: para as segundas-feiras (Cenário 6.1) e para os restantes dias (Cenário 6.2).

#### 6.2.3.1 CENÁRIO 6.1

No Cenário 6.1 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 24250 kg/dia.

A Figura 6.33 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste cenário:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (12000 kg)
- *MaxTotalTime*: tempo total máximo para a realização do circuito (405 min)

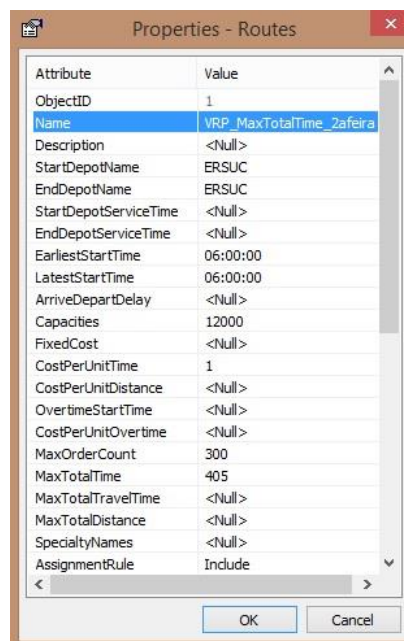


Figura 6.33 – Atributos do Percurso 6 (Cenário 6.1)

Depois de se efetuar o *Solve*, o percurso é traçado mas, como já seria de esperar, impondo 405 minutos para efetuar a totalidade do percurso, nem todos os locais de recolha fazem parte do percurso traçado. Na Figura 6.34, os pontos a vermelho dizem respeito aos locais de recolha nos quais o veículo de recolha não passou, uma vez que não poderia exceder esses mesmos 405 min.

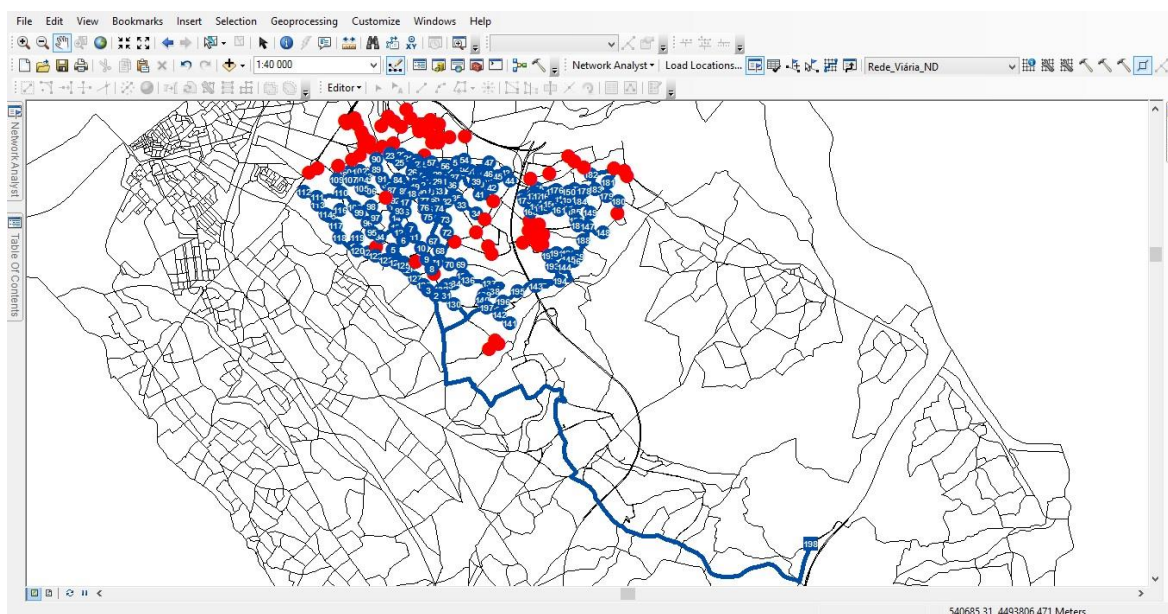


Figura 6.34 – Representação do Percurso 6 (Cenário 6.1)

Apesar do percurso traçado não envolver todos os locais de recolha, pelo facto de também ser imposta um valor de capacidade máxima para o veículo, o percurso efetuado ainda envolve duas voltas com uma ida intermédia à ERSUC para descarregar os resíduos. As Figuras 6.35 e 6.36 descrevem os locais de recolha que são abrangidos nas duas voltas/circuitos.

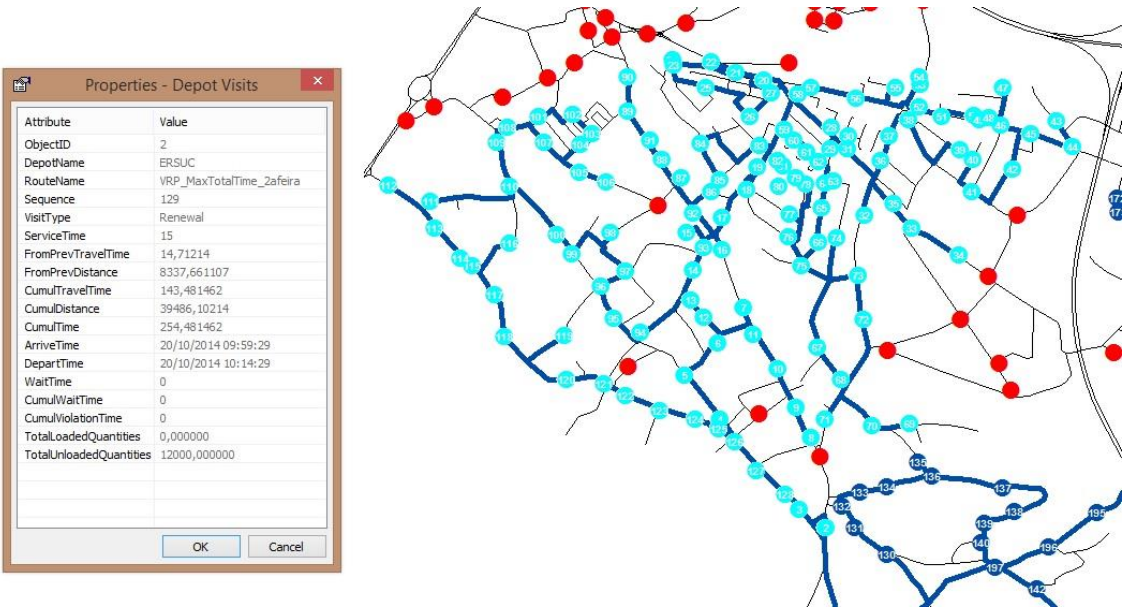


Figura 6.35 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 6.1)

A primeira volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem por 127 locais de recolha; recolha de 12000 kg de resíduos; regresso à ERSUC onde permanece durante 15 minutos para descarregar o veículo às 09:59:29. Nesta primeira volta foram percorridos 39486 metros, utilizando um tempo de 255 minutos.

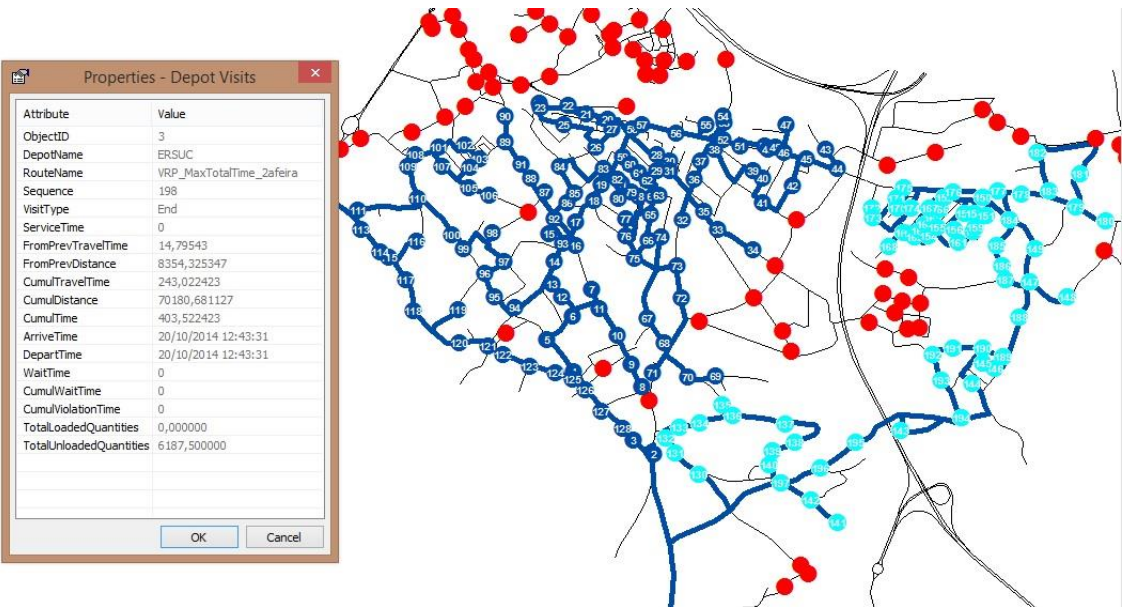


Figura 6.36 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 6.1)

A segunda e última volta envolve a saída da ERSUC às 10:14:29; passagem por 68 locais de recolha; recolha de 6188 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 12:43:31, devido ao tempo máximo imposto. Nesta segunda volta foram percorridos 30695 metros, utilizando um tempo de 149 minutos.

A Figura 6.37 representa o resultado final do Cenário 6.1.

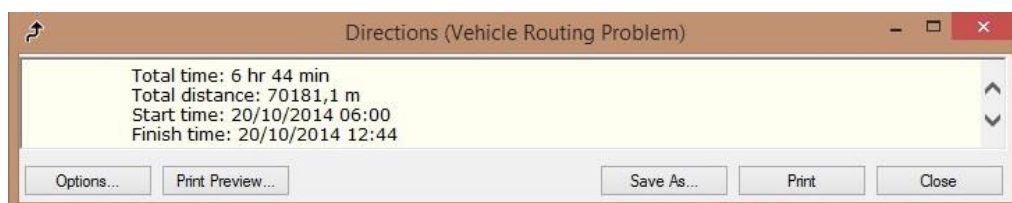


Figura 6.37 – Resultado de aplicação do VRP do Percurso 6 (Cenário 6.1)

Este resultado final envolve a distância que o veículo conseguiu percorrer no tempo máximo que tinha para realizar o percurso. Assim o veículo percorreu 70181 metros em 6 horas e 44 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 12:44.

#### 6.2.3.2 CENÁRIO 6.2

No Cenário 6.2 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 13161 kg/dia.

A Figura 6.38 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste cenário:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (12000 kg)
- *MaxTotalTime*: tempo total máximo para a realização do circuito (405 min)



Attribute	Value
ObjectID	1
Name	VRP_MaxTotalTime_rdlas
Description	<Null>
StartDepotName	ERSUC
EndDepotName	ERSUC
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	06:00:00
LatestStartTime	06:00:00
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	12000
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	<Null>
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	300
MaxTotalTime	405
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include

Figura 6.38 – Atributos do Percurso 6 (Cenário 6.2)

Novamente, depois de se efetuar o *Solve*, o percurso é traçado até um tempo total de 405 minutos para efetuar a totalidade do percurso, nem todos os locais de recolha fazem parte do percurso traçado. Na Figura 6.39, os pontos a vermelho dizem respeito aos locais de recolha nos quais o veículo de recolha não passou, uma vez que não poderia exceder esses mesmos 405 min.

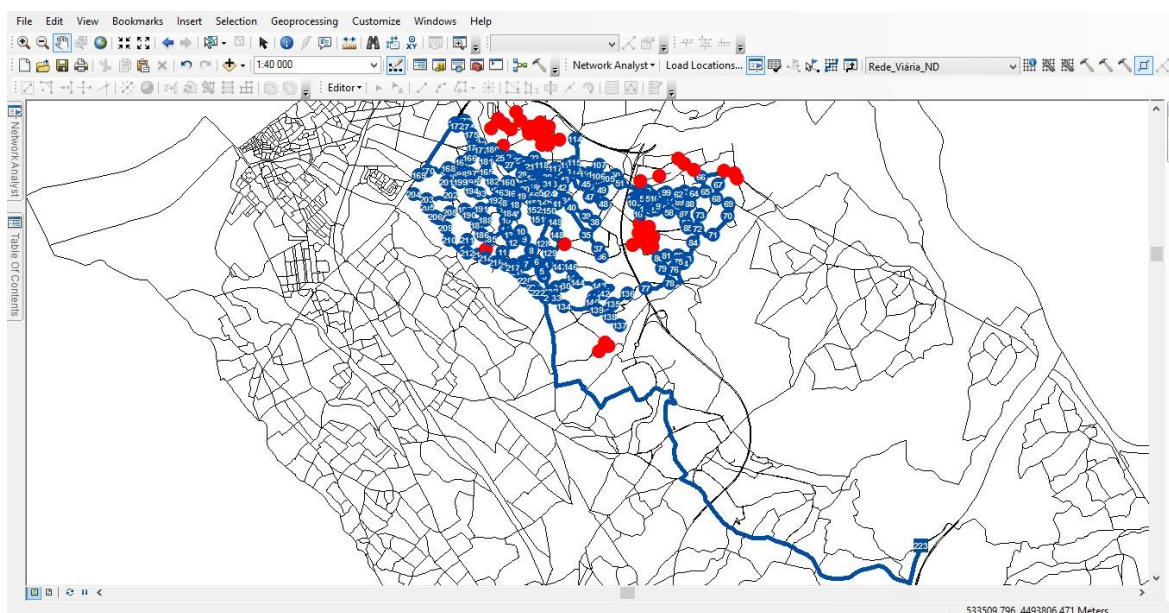


Figura 6.39 – Representação do Percurso 6 (Cenário 6.2)

A Figura 6.40 descreve os locais de recolha que são abrangidos na única volta efetuada.

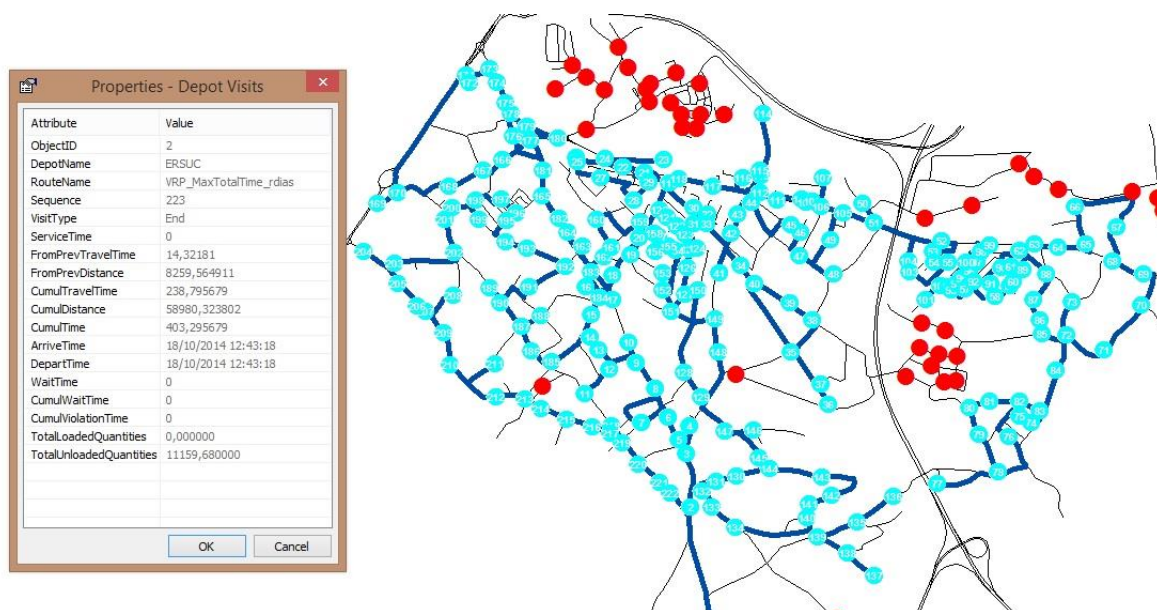


Figura 6.40 – Representação dos locais de recolha abrangidos na única volta (Cenário 6.2)

A única volta envolve a saída da ERSUC às 06:00:00; passagem por 221 locais de recolha; recolha de 11160 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 12:43:18, devido à restrição de tempo máximo imposta.

A Figura 6.41 representa o resultado final do Cenário 6.2.

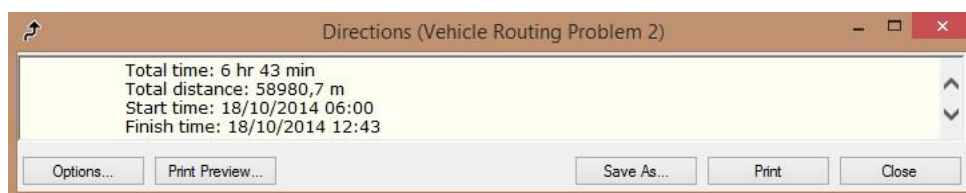


Figura 6.41 – Resultado de aplicação do VRP do Percurso 6 (Cenário 6.2)

Este resultado final envolve a distância que o veículo conseguiu percorrer no tempo máximo que tinha para realizar o percurso. Assim o veículo percorreu 58981 metros em 6 horas e 43 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 12:43.



### 6.2.3.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 6

O Cenário 6 envolve a otimização com base nas quantidades recolhidas em cada local de recolha, na distância percorrida, no tempo utilizado e no tempo de serviço em cada local e descarga do veículo. No entanto, além destes critérios, foi adicionada uma variável ao sistema que diz respeito ao *MaxTotalTime*. Esta variável diz respeito ao tempo durante o qual o percurso poderá ser efetuado (405 minutos). Por outro lado, a capacidade do veículo é sempre 12000 kg.

A Tabela 6.4 apresenta um resumo dos valores obtidos na aplicação do *VRP* do Cenário 6 estudado.

Tabela 6.4 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 6

	Cenário 6.1	Cenário 6.2
Nome do circuito	VRP_MaxTotalTime_2afeira	VRP_MaxTotalTime_rdias
Capacidade do veículo (kg)	12000	12000
Distância (m)	70181	58981
Tempo (h, min)	6 h 44 min	6 h 43 min
Hora de início	06:00	06:00
Hora de fim	12:44	12:43
Nº de voltas	2	1
Quantidade recolhida na 1ª volta (kg)	12000	11160
Quantidade recolhida na 2ª volta (kg)	6188	-
Nº de pontos visitados na 1ª volta	127	221
Nº de pontos visitados na 2ª volta	68	-
Nº de pontos por visitar	66	40
Ponto inicial	ERSUC	ERSUC
Ponto final	ERSUC	ERSUC
Sequência de visita	126,140,129,130,150,145,141...	126,127,114,141,142,137,143...

Através da análise do Cenário 5 seria de esperar que, impondo a restrição do *MaxTotalTime*, o veículo não conseguiria passar por todos os locais de recolha, já que os tempos observados já ultrapassavam os 405 minutos. Desta forma, o percurso foi traçado mas não envolveu a totalidade dos locais de recolha e, portanto, esta análise foi realizada para perceber de que forma o *software* responde quando existe violação de uma das constantes impostas.

Para o Cenário 6.1, num primeiro circuito foram recolhidos 12000 kg de resíduos, tendo sido visitados 127 locais de recolha. A área originada pelos pontos recolhidos é mais ou menos uniforme, encontrando-se no seu interior alguns locais que não foram visitados nesta volta. Relativamente à segunda volta, até atingir os 405 minutos impostos, o veículo recolheu 6188 kg provenientes de 68 locais. Assim, neste cenário ficaram por visitar 66 locais de recolha.

Relativamente ao Cenário 6.2 e como era de esperar, o número de locais por visitar foi menor já que apenas numa volta o veículo carregou 11160 kg em 221 pontos, tendo ficado por visitar 40 locais.

Apesar de em ambos os casos de estudo não ser possível ultrapassar os 405 minutos e do veículo de recolha não poder exceder a capacidade máxima de 12000 kg, neste Cenário 6.2 o veículo deixa por visitar um menor número de locais, uma vez que, as quantidades a recolher em cada um desses locais eram inferiores, quando comparadas com o primeiro caso.

Em relação à sequência de recolha, alguns locais de recolha não estão incluídos no percurso traçado. Desta forma, não é possível comparar a sequência originada em ambos os casos, isto é, há locais que não são visitados num dos casos e sendo noutro.

Por fim, é possível concluir que o percurso RSU I 06 não pode ser realizado nos 405 minutos propostos. Assim, terão que ser feitas outras propostas de otimização do percurso.

#### *6.2.4 ENSAIO DE APLICAÇÃO DO VRP AUMENTANDO A CAPACIDADE DO VEÍCULO DE RECOLHA (CENÁRIO 7)*

O Cenário 7 envolve a aplicação do *VRP* com os seguintes pressupostos:

- Locais de recolha disponíveis na via pública ou junto dela;
- Capacidade máxima de carga do veículo: 15 000 kg
- Tempo de serviço em cada local de recolha (0,5 min/contentor) e tempo gasto para descarregar o veículo no destino final (15 min);
- Parâmetros de tempo e velocidade apurados com base em cálculos, como mencionado em 5.7.1;

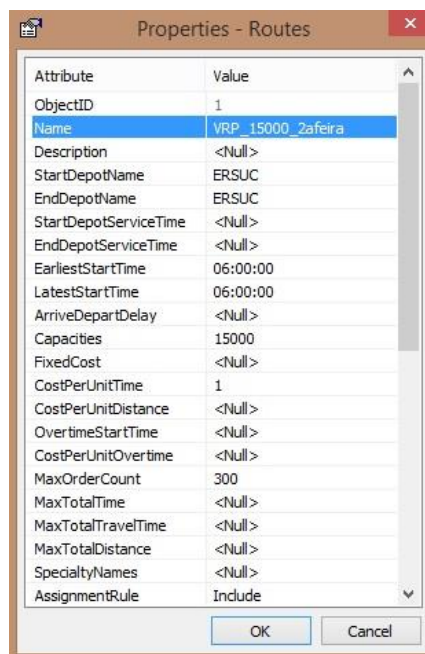
- Quantidade de resíduos a recolher é determinada com base nos dados médios de setembro de 2011, mas considerando dois casos: para as segundas-feiras (Cenário 7.1) e para os restantes dias (Cenário 7.2).

#### 6.2.4.1 CENÁRIO 7.1

No Cenário 7.1 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 24250 kg/dia.

A Figura 6.42 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste percurso:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (15000 kg)



The screenshot shows a 'Properties - Routes' dialog box with a table of attributes and values. The 'Name' attribute is highlighted in blue.

Attribute	Value
ObjectID	1
Name	VRP_15000_2afeira
Description	<Null>
StartDepotName	ERSUC
EndDepotName	ERSUC
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	06:00:00
LatestStartTime	06:00:00
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	15000
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	<Null>
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	300
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include

At the bottom of the dialog box are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 6.42 – Atributos do Percurso 7 (Cenário 7.1)

O percurso apresentado na Figura 6.43 representa a saída da ERSUC, realização do percurso com as várias idas à ERSUC para descarregar os resíduos e regresso final à mesma.

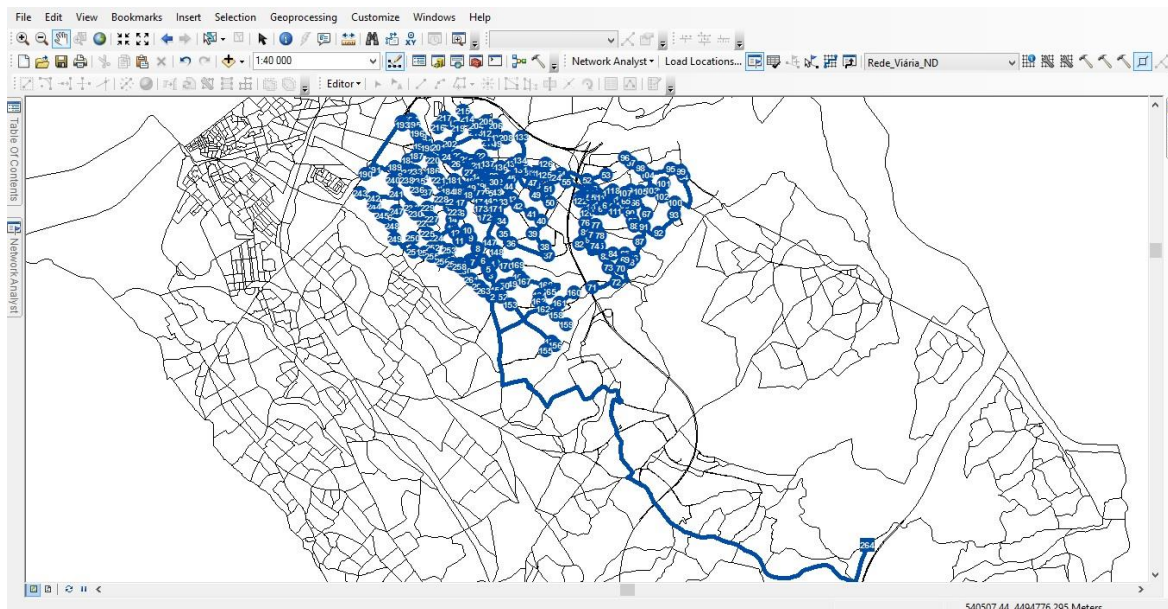


Figura 6.43 – Representação do Percurso 7 (Cenário 7.1)

O percurso efetuado envolve duas voltas com uma ida intermédia à ERSUC para descarregar os resíduos, devido à restrição da capacidade. As Figuras 6.44 e 6.45 descrevem os locais de recolha que são abrangidos nas duas voltas/circuitos.

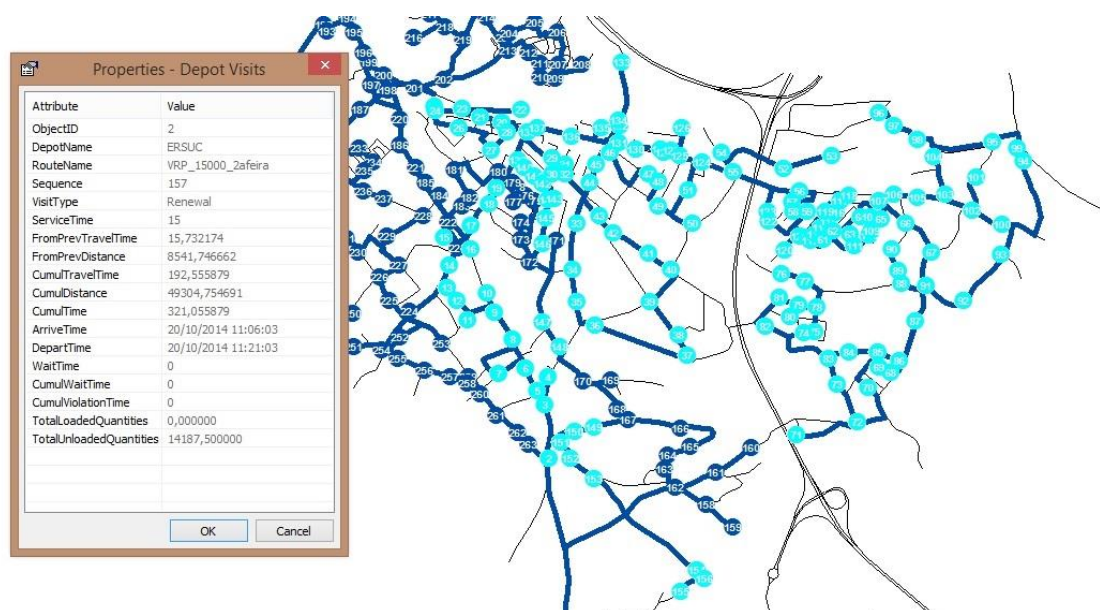


Figura 6.44 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 7.1)

A primeira volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem por 155 locais de recolha; recolha de 14188 kg de resíduos; regresso à ERSUC onde permanece durante 15 minutos para descarregar o veículo às 11:06:03. Nesta primeira volta foram percorridos 49305 metros, utilizando um tempo de 321 minutos.

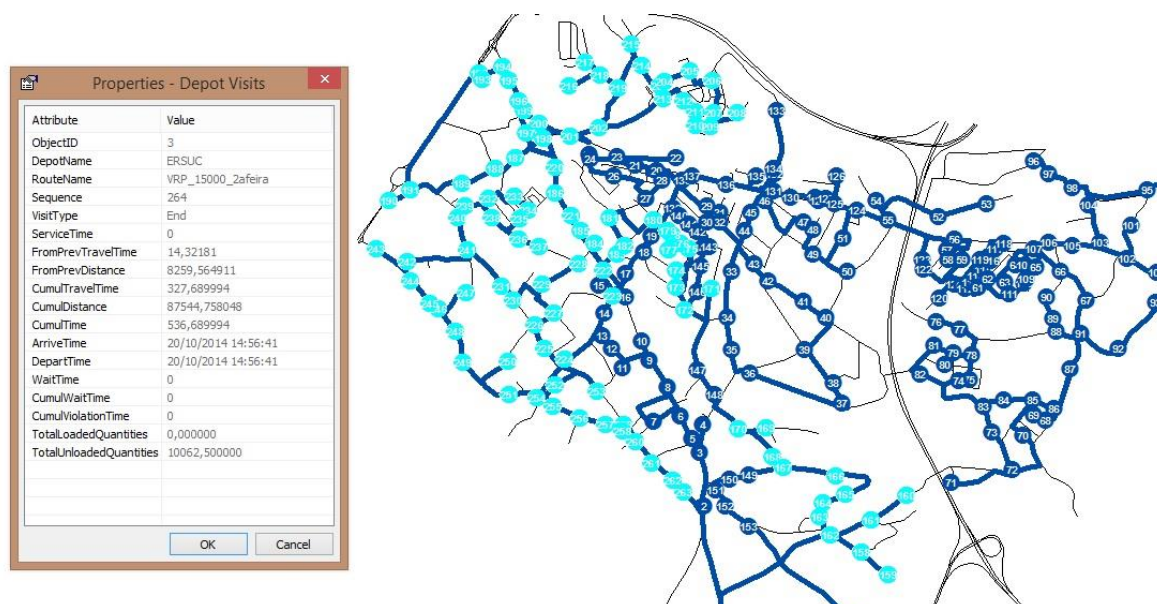


Figura 6.45 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 7.1)

A segunda e última volta envolve a saída da ERSUC às 11:21:03; passagem pelos restantes 106 locais de recolha; recolha de 10063 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 14:56:41. Nesta segunda volta foram percorridos 38240 metros, utilizando um tempo de 216 minutos.

A Figura 6.46 apresenta o resultado final do Cenário 7.1.

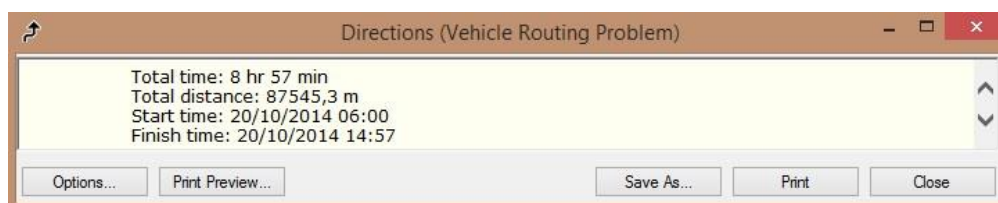


Figura 6.46 – Resultado de aplicação do VRP do Percurso 7 (Cenário 7.1)

O percurso envolveu o percorrer de 87545 metros em 8 horas e 57 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 14:57.

#### 6.2.4.2 CENÁRIO 7.2

No Cenário 7.2 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 13161 kg/dia.

A Figura 6.47 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste cenário:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (15000 kg)



Attribute	Value
ObjectID	1
Name	VRP_15000_rdlas
Description	<Null>
StartDepotName	ERSUC
EndDepotName	ERSUC
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	06:00:00
LatestStartTime	06:00:00
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	15000
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	<Null>
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	300
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include

Figura 6.47 – Atributos do Percurso 7 (Cenário 7.2)

O percurso apresentado na Figura 6.48 representa a saída da ERSUC, realização do percurso com as várias idas à ERSUC para descarregar os resíduos e regresso final à mesma.

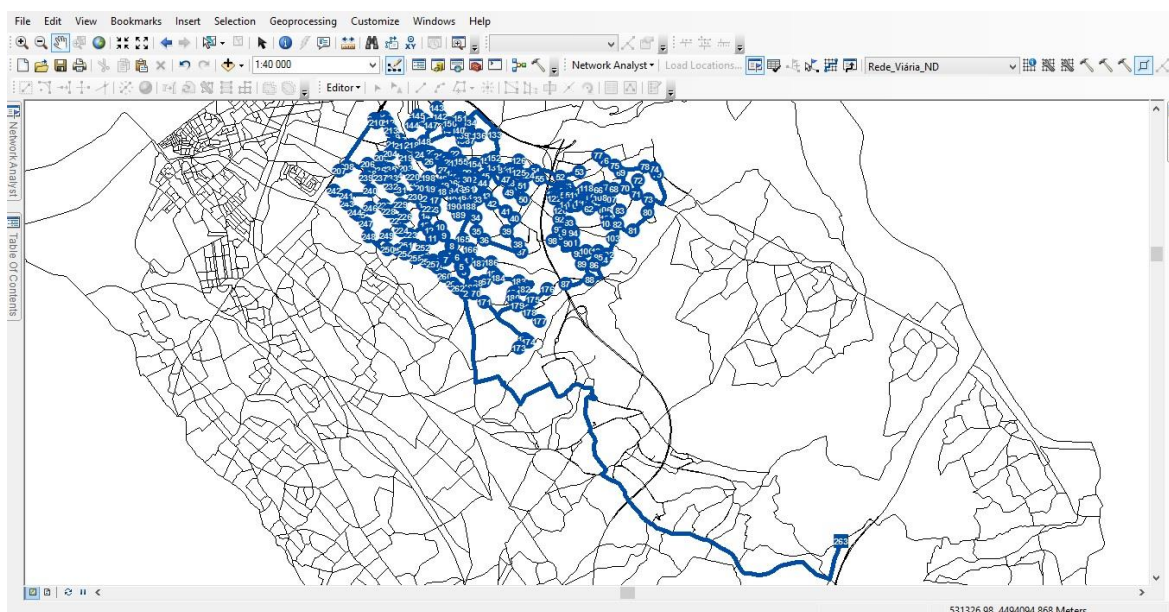


Figura 6.48 – Representação do Percurso 7 (Cenário 7.2)

O percurso efetuado envolve uma única volta para conseguir carregar a totalidade de resíduos do percurso. A Figura 6.49 destaca que todos os locais de recolha estão abrangidos neste circuito.

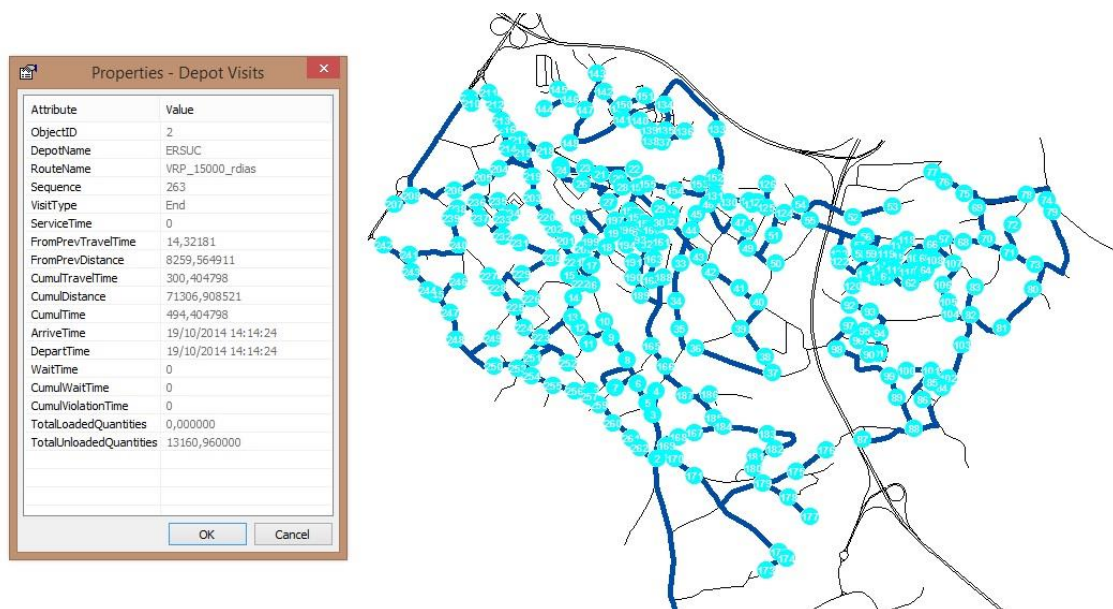


Figura 6.49 – Representação dos locais de recolha abrangidos na única volta (Cenário 7.2)

Esta primeira e única volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem pelos 261 locais de recolha; recolha de 13161 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 14:14:24.

A Figura 6.50 apresenta o resultado final do Cenário 7.2.

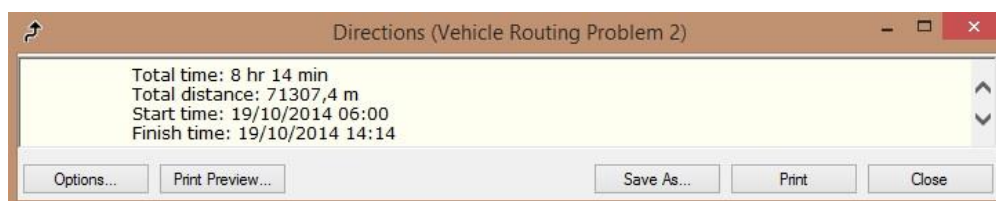


Figura 6.50 – Resultado de aplicação do VRP do Percurso 7 (Cenário 7.2)

O percurso envolveu o percorrer de 71307 metros em 8 horas e 14 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 14:14.



### 6.2.4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 7

O Cenário 7 apresentado envolve a otimização com base nas quantidades recolhidas em cada local de recolha, na distância percorrida, no tempo utilizado e no tempo de serviço em cada local e descarga do veículo. Comparativamente ao percurso anterior, a variável *MaxTotalTime* não foi tida em conta.

Pela análise dos anteriores percursos, optou-se por aumentar a capacidade do veículo de recolha. Assim, o veículo passa a poder recolher até 15000 kg. Este percurso pretende perceber a resposta do *software* face a esta alteração da capacidade do veículo e também perceber de que forma, na realidade, a alteração do veículo poderá beneficiar o problema.

A Tabela 6.5 apresenta um resumo dos valores obtidos na aplicação do *VRP* do Cenário 7 estudado.

Tabela 6.5 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 7

	Cenário 7.1	Cenário 7.2
Nome do circuito	VRP_15000_2afeira	VRP_15000_rdias
Capacidade do veículo (kg)	15000	15000
Distância (m)	87545	71307
Tempo (h, min)	8 h 57 min	8 h 14 min
Hora de início	06:00	06:00
Hora de fim	14:57	14:14
Nº de voltas	2	1
Quantidade recolhida na 1ª volta (kg)	14188	13161
Quantidade recolhida na 2ª volta (kg)	10063	-
Nº de pontos visitados na 1ª volta	155	261
Nº de pontos visitados na 2ª volta	106	-
Ponto inicial	ERSUC	ERSUC
Ponto final	ERSUC	ERSUC
Sequência de visita	126,140,129,130,150,149,152...	126,127,114,141,142,137,143...

Observando a tabela anterior, de repente é possível perceber que, para o Cenário 7.1, o veículo recolhe a totalidade dos resíduos efetuando dois circuitos; por sua vez, o Cenário 7.2 necessita de apenas uma volta para realizar o percurso completo, garantindo visitar todos os locais de recolha.

Por outro lado, outro fator importante é que as quantidades de resíduos recolhidas no Cenário 7.1 encontram-se relativamente bem divididas pelos dois circuitos que são efetuados. Assim, não há discrepâncias tão significativas como as que foram verificadas nos cenários anteriores. Recolher por vezes quantidades muito baixas de resíduos, obriga a que o veículo realize uma viagem adicional à ERSUC. Esta questão pode refletir-se no aumento da distância percorrida e, conseqüente, aumento do combustível utilizado. Da mesma forma, se um veículo carregar uma quantidade exagerada de resíduos numa única volta, os custos associados à manutenção do veículo e ao consumo de combustível são também superiores. Pretende-se então que, num percurso onde seja necessário realizar mais do que um circuito, as quantidades a recolher sejam divididas pelo número de voltas.

No Cenário 7.1, num primeiro circuito foram recolhidos 14188 kg, provenientes de 155 locais de recolha; a área destes 155 pontos é bem definida, no entanto ficam por recolher alguns pontos (cerca de 30) no interior desta área. Para a segunda volta, o veículo visitou 106 locais, recolhendo 10063 kg de resíduos.

Relativamente ao Cenário 7.2, foi necessário apenas um circuito para garantir a recolha de 261 locais que continham 13161 kg.

Comparando o Cenário 7 com o Cenário 5, é de reparar que a alteração da capacidade do veículo resultou numa diminuição do número de circuitos tanto no Cenário 7.1 como no Cenário 7.2. Por outro lado, neste percurso as quantidades de resíduos encontram-se divididas pelos dois circuitos, enquanto que, no Cenário 5, a segunda volta efetuada pelo veículo recolhia apenas 250 kg provenientes de 4 locais de recolha, levando ao encarecer dos custos associados ao percurso.

#### *6.2.5 ENSAIO DE APLICAÇÃO DO VRP COM ADIÇÃO DO MAXTOTALTIME AO VEÍCULO COM CAPACIDADE DE 15000 KG (CENÁRIO 8)*

O Cenário 8 envolve a aplicação do VRP com os seguintes pressupostos:

- Locais de recolha disponíveis na via pública ou junto dela;
- Capacidade máxima de carga do veículo: 15 000 kg
- Tempo de serviço em cada local de recolha (0,5 min/contentor) e tempo gasto para descarregar o veículo no destino final (15 min);

- Adição do tempo total disponível para realização do circuito (405 minutos);
- Parâmetros de tempo e velocidade apurados com base em cálculos, como mencionado em 5.7.1;

Quantidade de resíduos a recolher é determinada com base nos dados médios de setembro de 2011, mas considerando dois casos: para as segundas-feiras (Cenário 8.1) e para os restantes dias (Cenário 8.2).

#### 6.2.5.1 CENÁRIO 8.1

No Cenário 8.1 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 24250 kg/dia.

A Figura 6.51 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste percurso:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (15000 kg)

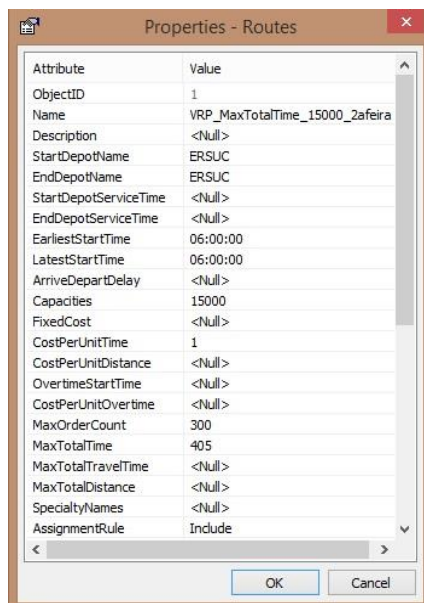


Figura 6.51 – Atributos do Percurso 8 (Cenário 8.1)

Semelhante ao Cenário 6, depois de se efetuar o *Solve*, o percurso é traçado mas, impondo 405 minutos para efetuar a totalidade do percurso, nem todos os locais de recolha fazem parte do percurso traçado. Na Figura 6.52, os pontos a vermelho dizem respeito aos locais de recolha nos quais o veículo de recolha não passou, uma vez que não poderia exceder esses mesmos 405 min.

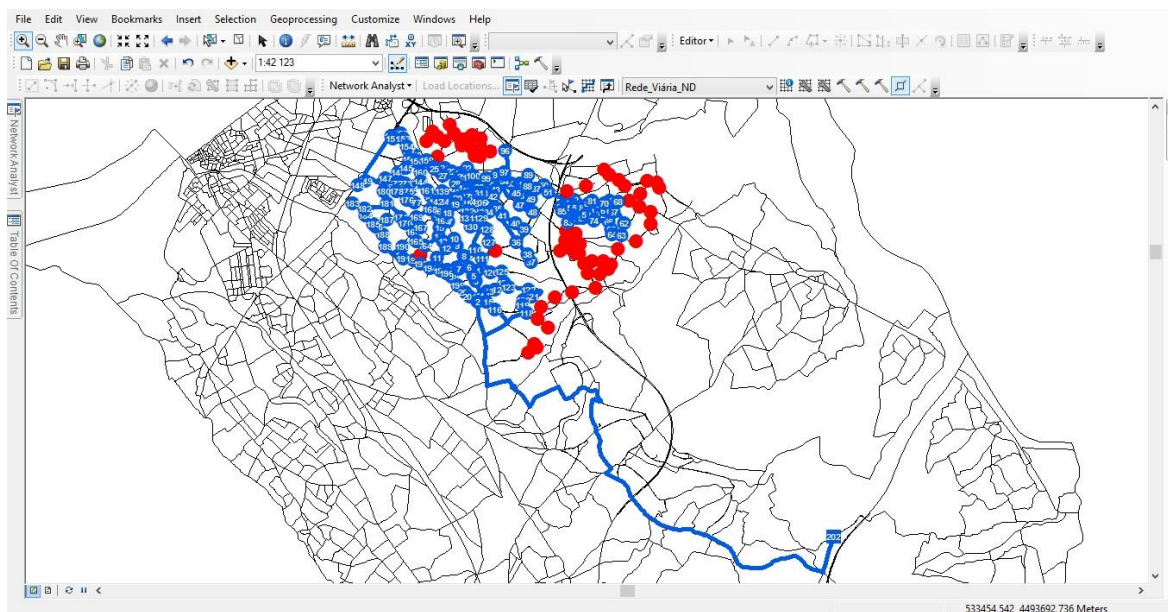


Figura 6.52 – Representação do Percurso 8 (Cenário 8.1)

Apesar do percurso traçado não envolver todos os locais de recolha, pelo facto de também ser imposta um valor de capacidade máxima para o veículo, o percurso efetuado ainda envolve duas voltas com uma ida intermédia à ERSUC para descarregar os resíduos. As Figuras 6.53 e 6.54 descrevem os locais de recolha que são abrangidos nas duas voltas/circuitos.

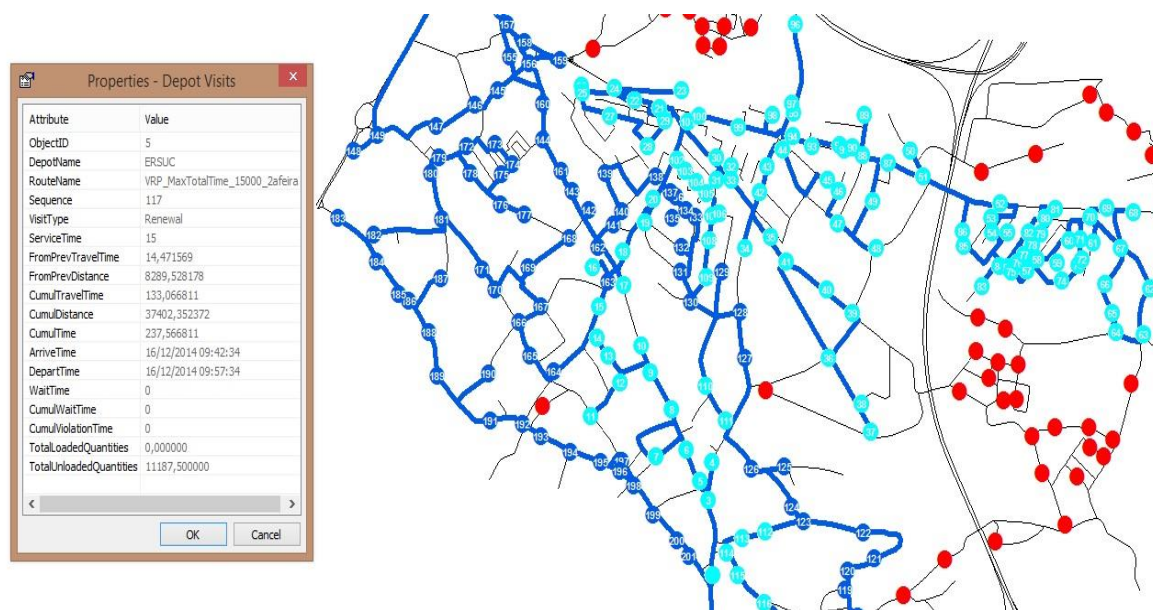


Figura 6.53 – Representação dos locais de recolha abrangidos na primeira volta (Cenário 8.1)

A primeira volta envolve a saída da ERSUC às 06:00; passagem por 115 locais de recolha; recolha de 11188 kg de resíduos; regresso à ERSUC onde permanece durante 15 minutos para descarregar o veículo às 09:42:34. Nesta primeira volta foram percorridos 37402 metros, utilizando um tempo de 238 minutos.

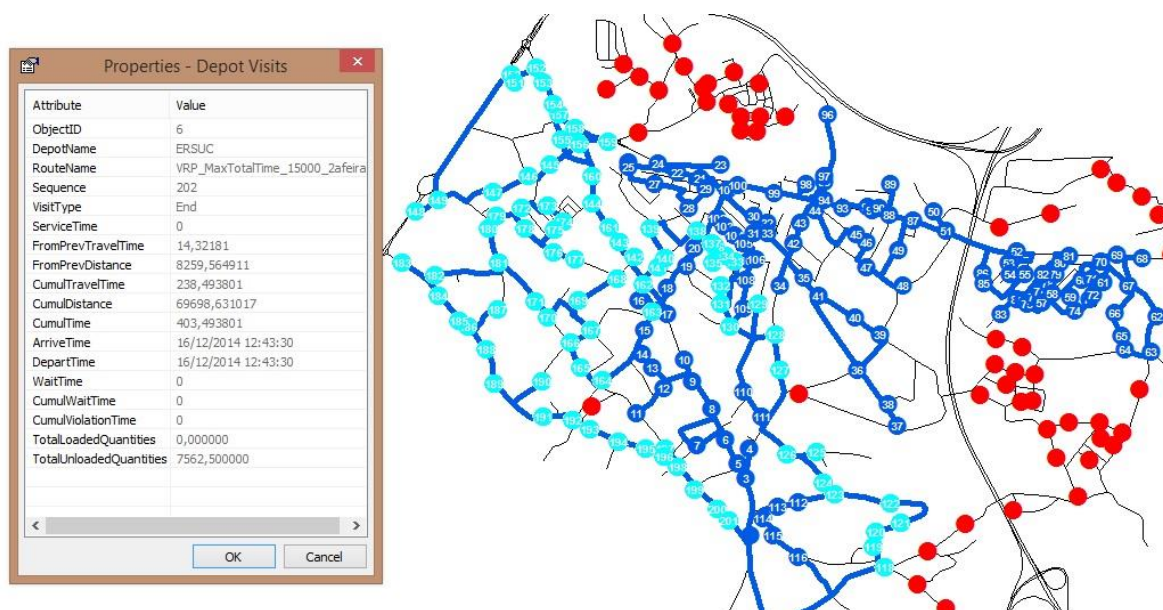


Figura 6.54 – Representação dos locais de recolha abrangidos na segunda volta (Cenário 8.1)

A segunda e última volta envolve a saída da ERSUC às 09:57:34; passagem por 86 locais de recolha; recolha de 7563 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 12:43:30, devido ao tempo máximo imposto. Nesta segunda volta foram percorridos 32296 metros, utilizando um tempo de 166 minutos.

A Figura 6.55 representa o resultado final do Cenário 8.1.

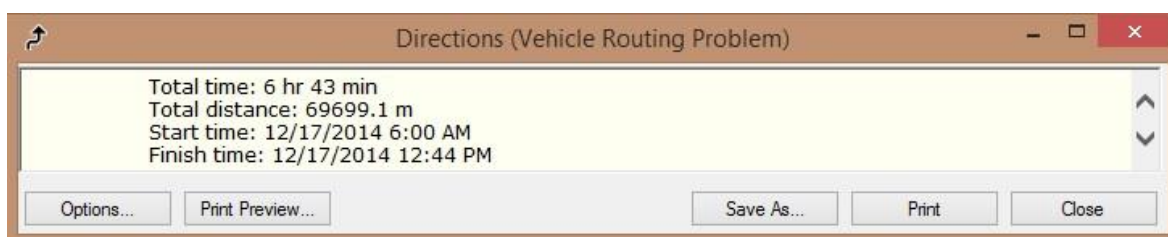


Figura 6.55 – Resultado de aplicação do VRP do Percurso 8 (Cenário 8.1)

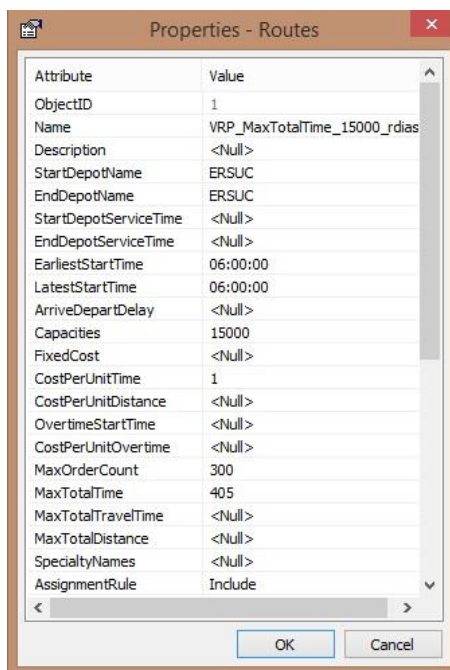
Este resultado final envolve a distância que o veículo conseguiu percorrer no tempo máximo que tinha para realizar o percurso. Assim o veículo percorreu 69699 metros em 6 horas e 43 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 12:44.

## 6.2.5.2 CENÁRIO 8.2

No Cenário 8.2 as quantidades de resíduos a recolher a partir dos diferentes locais totalizam 13161 kg/dia.

A Figura 6.56 apresenta os atributos preenchidos para determinação deste cenário:

- *Name*: Nome do circuito
- *StartDepotName*: local onde tem início o circuito (ERSUC)
- *EndDepotName*: local onde termina o circuito (ERSUC)
- *EarliestStartTime* e *LatestStartTime*: intervalo de tempo a que se pretende que o percurso se inicie
- *Capacities*: capacidade da viatura (15000 kg)
- *MaxTotalTime*: tempo total máximo para a realização do circuito (405 min)



Attribute	Value
ObjectID	1
Name	VRP_MaxTotalTime_15000_rdias
Description	<Null>
StartDepotName	ERSUC
EndDepotName	ERSUC
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	06:00:00
LatestStartTime	06:00:00
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	15000
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	<Null>
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	300
MaxTotalTime	405
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include

Figura 6.56 – Atributos do Percurso 8 (Cenário 8.2)

Novamente, depois de se efetuar o *Solve*, o percurso é traçado até um tempo total de 405 minutos para efetuar a totalidade do percurso, nem todos os locais de recolha fazem parte do percurso traçado. Na Figura 6.57, os pontos a vermelho dizem respeito aos



locais de recolha nos quais o veículo de recolha não passou, uma vez que não poderia exceder esses mesmos 405 min.

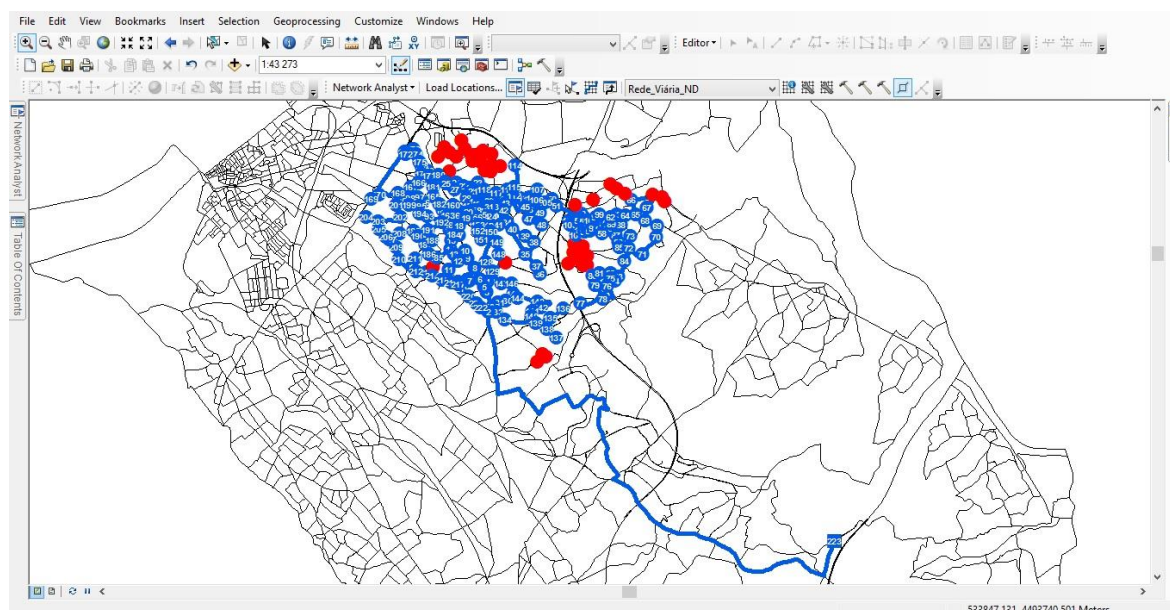


Figura 6.57 – Representação do Percurso 8 (Cenário 8.2)

A Figura 6.58 descreve os locais de recolha que são abrangidos na única volta efetuada.

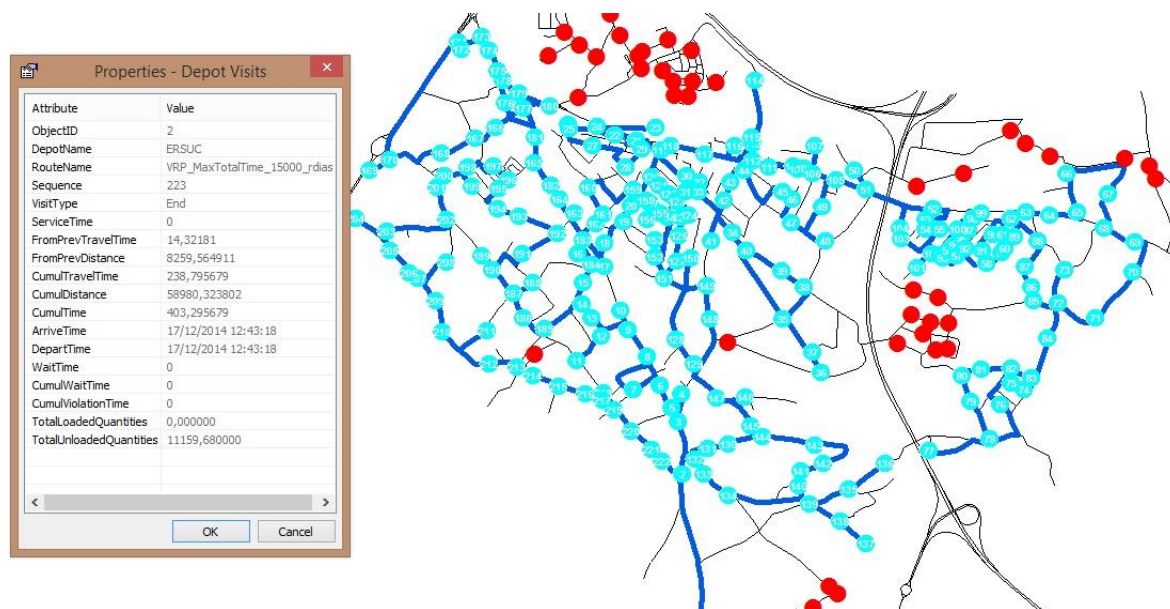


Figura 6.58 – Representação dos locais de recolha abrangidos na única volta (Cenário 8.2)



A única volta envolve a saída da ERSUC às 06:00:00; passagem por 221 locais de recolha; recolha de 11160 kg de resíduos; regresso à ERSUC para descarregar o veículo e terminar o percurso às 12:43:18, devido à restrição de tempo máximo imposta.

A Figura 6.59 representa o resultado final do Cenário 8.2.

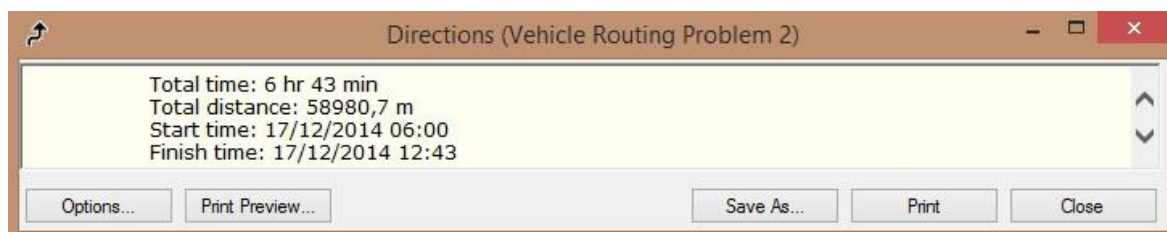


Figura 6.59 – Resultado de aplicação do *VRP* do Percurso 8 (Cenário 8.2)

Este resultado final envolve a distância que o veículo conseguiu percorrer no tempo máximo que tinha para realizar o percurso. Assim o veículo percorreu 58981 metros em 6 horas e 43 minutos. A sua hora de início foi às 06:00, tendo por isso terminado às 12:43.

#### 6.2.5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 8

O Cenário 8 envolve a otimização com base nas quantidades recolhidas em cada local de recolha, na distância percorrida, no tempo utilizado e no tempo de serviço em cada local e descarga do veículo. No entanto, além destes critérios, foi adicionada uma variável ao sistema que diz respeito ao *MaxTotalTime*. Esta variável diz respeito ao tempo durante o qual o percurso poderá ser efetuado (405 minutos). Por outro lado, a capacidade do veículo é sempre 15000 kg.

A Tabela 6.6 apresenta um resumo dos valores obtidos na aplicação do *VRP* do Cenário 8 estudado.

Tabela 6.6 – Resumo dos resultados obtidos para o Cenário 8

	Cenário 8.1	Cenário 8.2
Nome do circuito	VRP_MaxTotalTime_15000_2afeira	VRP_MaxTotalTime_15000_rdias
Capacidade do veículo (kg)	15000	15000
Distância (m)	69699	58981
Tempo (h, min)	6 h 44 min	6 h 43 min
Hora de início	06:00	06:00
Hora de fim	12:44	12:43
Nº de voltas	2	1
Quantidade recolhida na 1ª volta (kg)	11188	11160
Quantidade recolhida na 2ª volta (kg)	7563	-
Nº de pontos visitados na 1ª volta	115	221
Nº de pontos visitados na 2ª volta	86	-
Nº de pontos por visitar	60	40
Ponto inicial	ERSUC	ERSUC
Ponto final	ERSUC	ERSUC
Sequência de visita	126,127,114,141,142,137,143...	126,127,114,141,142,137,143...

Através da análise do Cenário 6 e 7 seria de esperar que, impondo novamente a restrição do *MaxTotalTime*, o veículo não conseguiria passar por todos os locais de recolha, já que os tempos observados já ultrapassavam os 405 minutos. Desta forma, o percurso foi traçado mas não envolveu a totalidade dos locais de recolha e, portanto, esta análise foi realizada para perceber de que forma o *software* responde quando existe violação de uma das constantes impostas, mas impondo a capacidade do veículo de 15000 kg.

Para o Cenário 8.1, num primeiro circuito foram recolhidos 11188 kg de resíduos, tendo sido visitados 115 locais de recolha. A área originada pelos pontos recolhidos é mais ou menos uniforme, encontrando-se no seu interior alguns locais que não foram visitados nesta volta. Relativamente à segunda volta, até atingir os 405 minutos impostos, o veículo recolheu 7563 kg provenientes de 86 locais. Assim, neste cenário ficaram por visitar 60 locais de recolha.

Relativamente ao Cenário 8.2 e como era de esperar, o resultado final é exatamente igual ao Cenário 6.2. Isto é, o veículo efetuou uma única volta, carregando 11160 kg em 221 pontos, tendo ficado por visitar 40 locais. No tempo disponível, mesmo que se aumente a capacidade do veículo, não é possível recolher mais do que 11160 kg, até porque a quantidade total a recolher é de 13161 kg/dia.

Mais uma vez se verifica que, apesar de em ambos os casos de estudo não ser possível ultrapassar os 405 minutos e do veículo de recolha não poder exceder a capacidade máxima de 15000 kg, neste Cenário 8.2 o veículo deixa por visitar um menor número de locais, uma vez que, as quantidades a recolher em cada um desses locais eram inferiores, quando comparadas com o primeiro caso.

No Cenário 8.1, quando comparado com o Cenário 6.1, verifica-se que as quantidades recolhidas em cada volta sofreram alguns ajustes. Ao mesmo tempo, como seria de esperar, o número de pontos por visitar é menor neste novo cenário e, consequentemente, a quantidade recolhida é maior. No entanto, as diferenças não são significativas entre os dois cenários onde se utiliza a variável *MaxTotalTime*. Isto é, nos 405 minutos disponíveis, é possível recolher uma dada quantidade de resíduos. Mesmo que a capacidade do veículo aumente, esta variável não influencia em grande escala os resultados finais deste cenário.

Em relação à sequência de recolha, alguns locais de recolha não estão incluídos no percurso traçado. Desta forma, não é possível comparar a sequência originada em ambos os casos, isto é, há locais de recolha que não são visitados num dos casos e sendo noutro.

### **6.3 SEQUÊNCIA DOS PONTOS DE VISITA ORIGINADA PELA APLICAÇÃO ROUTE E VRP**

Para cada um dos cenários atrás determinados, a aplicação *Network Analyst* apresenta uma listagem contendo a sequência de visita aos diferentes locais que fazem parte do percurso que são originadas aquando da utilização das funcionalidade *Route* e *VRP*, ao mesmo problema.

Na aplicação *Route* é calculado um dado percurso que tem como ponto inicial as instalações da ERSUC em Eirol, que visita os 261 locais de recolha do percurso RSU I 06 e que regressa ao ponto inicial. O critério de otimização (impedância) considerado é a distância e a sequência de visita é reordenada, mantendo os pontos inicial e final.

Na aplicação do *VRP* adicionam-se 261 locais de recolha (*Orders*), os pontos inicial e final do percurso (*Depots*) e o ponto de paragem intermédia (*Route Renewals*), se o veículo atingir o valor de capacidade máxima. Para que seja possível comparar a aplicação das duas funcionalidades, a capacidade do veículo no *VRP* foi colocada como sendo 20000 kg, para se garantir que o veículo carrega a totalidade dos resíduos num único circuito.

Não são tidos em conta nesta análise quaisquer tempos para descarga do veículo no destino final ou para carga em cada local de recolha.

Pelo exposto nos anteriores ensaios, espera-se que a sequência de visita altere, uma vez que, no *VRP*, adicionando mais critérios para a otimização, essa sequência de visita vai automaticamente ser reordenada.

### 6.3.1 ROUTE

A Figura 6.60 representa o percurso originado pela utilização da aplicação *Route* do *Network Analyst*. O percurso apresentado envolve a saída da ERSUC, a passagem pelos 261 locais de recolha e o regresso à ERSUC.

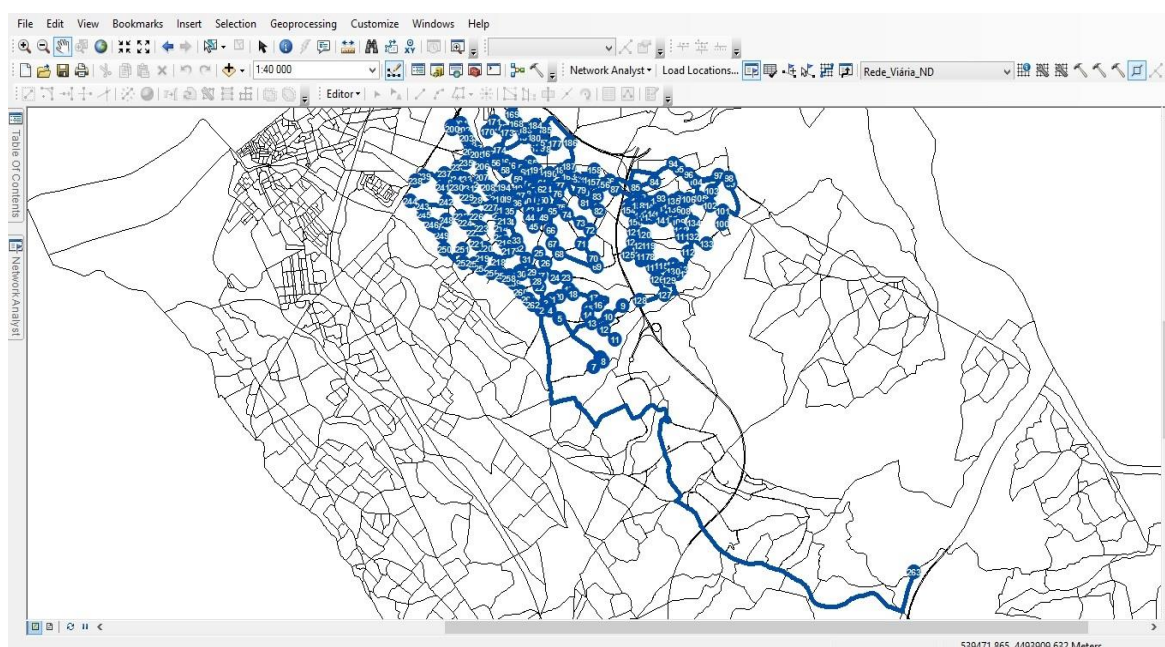


Figura 6.60 – Representação do percurso originado pela aplicação *Route*

A Figura 6.61 apresenta o resultado final da aplicação *Route*.

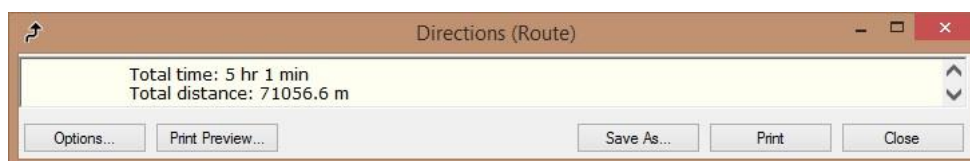


Figura 6.61 – Resultado do percurso originado pela aplicação *Route*

O percurso determinado apresenta 71057 metros e é percorrido em 5 horas e 01 minutos.

A Figura 6.62 apresenta um extrato da tabela de atributos com a sequência de visita dos pontos dada através da aplicação *Route*.

ObjectID	Shape	Name	Sequence	RouteName	TimeWindowStart	TimeWindowEnd	ArriveCurbApproach	DepartCurbApproach
1	Point	ERSUC	1	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle
129	Point	126	2	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
123	Point	120	3	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
124	Point	121	4	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
125	Point	122	5	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
126	Point	123	6	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
128	Point	125	7	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Right side of vehicle
127	Point	124	8	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
193	Point	190	9	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Left side of vehicle
192	Point	189	10	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
191	Point	188	11	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Right side of vehicle
190	Point	187	12	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
189	Point	186	13	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
188	Point	185	14	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
187	Point	184	15	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
186	Point	183	16	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
185	Point	182	17	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
184	Point	181	18	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
120	Point	117	19	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Right side of vehicle
121	Point	118	20	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
122	Point	119	21	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
130	Point	127	22	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
119	Point	116	23	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Right side of vehicle
118	Point	115	24	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle
115	Point	112	25	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Right side of vehicle
116	Point	113	26	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
117	Point	114	27	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
144	Point	141	28	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
145	Point	142	29	<Null>	<Null>	<Null>	Right side of vehicle	Right side of vehicle
140	Point	137	30	<Null>	<Null>	<Null>	Left side of vehicle	Left side of vehicle

Figura 6.62 – Tabela de atributos (extrato) com sequência de visita dos locais de recolha com a aplicação *Route*

### 6.3.2 VEHICLE ROUTING PROBLEM

A Figura 6.63 representa o percurso originado pela utilização da aplicação *VRP*. O percurso apresentado envolve a saída da ERSUC, a passagem pelos 261 locais de recolha e o regresso à ERSUC. Neste caso, o veículo pode carregar até 20000 kg de resíduos, ou seja, é necessário apenas um circuito para recolher a totalidades dos mesmos.

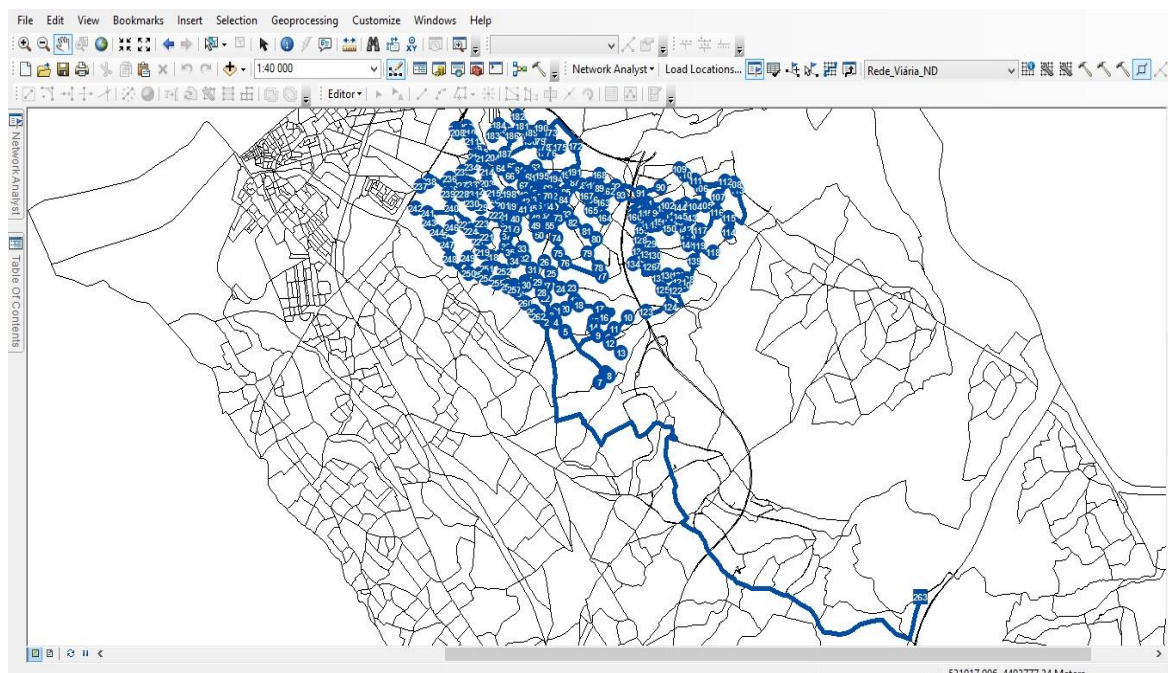


Figura 6.63 – Representação do percurso originado pela aplicação *VRP*

A Figura 6.64 apresenta o resultado final da aplicação *VRP*.

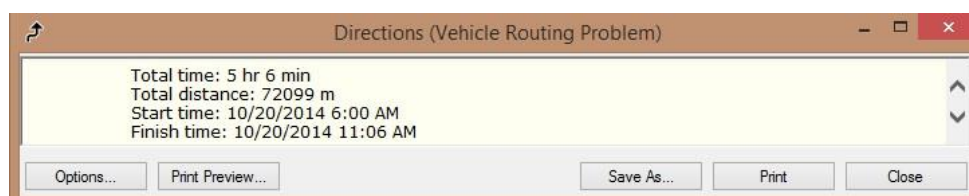


Figura 6.64 – Resultado do percurso originado pela aplicação *VRP*

O percurso determinado apresenta 72099 metros e foi percorrido em 5 horas e 06 minutos.

A Figura 6.65 apresenta um extrato da tabela de atributos com a sequência de visita dos pontos dada através da aplicação *VRP*.



Table									
Orders									
ObjectID	Shape	Name	Sequence	Description	ServiceTime	TimeWindowStart1	TimeWindowEnd1	TimeWindowStart2	TimeWindowEnd2
128	Point	128	2	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
122	Point	120	3	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
123	Point	121	4	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
124	Point	122	5	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
125	Point	123	6	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
127	Point	125	7	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
126	Point	124	8	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
188	Point	186	9	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
192	Point	190	10	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
191	Point	189	11	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
189	Point	187	12	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
190	Point	188	13	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
187	Point	185	14	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
186	Point	184	15	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
185	Point	183	16	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
184	Point	182	17	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
183	Point	181	18	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
119	Point	117	19	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
120	Point	118	20	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
121	Point	119	21	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
129	Point	127	22	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
118	Point	116	23	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
117	Point	115	24	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
115	Point	113	25	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
114	Point	112	26	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
116	Point	114	27	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
143	Point	141	28	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
144	Point	142	29	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
139	Point	137	30	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
145	Point	143	31	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>

Figura 6.65 – Tabela de atributos (extrato) com sequência de visita dos locais de recolha com a aplicação *VRP*

### 6.3.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Recapitulando, a Tabela 6.7 apresenta os resultados do exemplo estudado.

Tabela 6.7 – Resumo dos resultados obtidos

	Funcionalidade utilizada	
	<i>Route</i>	<i>VRP</i>
<b>Distância percorrida (m)</b>	71057	72099
<b>Tempo utilizado (h, min)</b>	5 h 01 min	5 h 06 min
<b>Hora de início</b>	06:00	06:00
<b>Hora de fim</b>	11:01	11:06

Observando os dados da tabela é possível reparar que as distâncias percorridas e os tempos utilizados são muito semelhantes entre eles. A aplicação *Route* fornece-nos um valor de distância e tempo, no entanto, a otimização de um dado percurso é feita apenas com base na minimização de uma dessas impedâncias. Por outro lado, o *VRP* otimiza um

circuito ao mesmo tempo com base na distância e no tempo, o que não se traduziu em ganhos efetivos, a avaliar pelo exemplo dado.

Consultando as tabelas de atributos apresentadas, pode concluir-se que a sequência de visita aos locais pouco difere entre as duas funcionalidades.

Por fim, observando ambos os percursos traçados, o comportamento dos mesmos é semelhante, já que começam por recolher um dos lados, passando ao lado oposto e sendo o último ponto (262º da sequência), próximo do primeiro ponto recolha (2º da sequência).

#### **6.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Recapitulando, o percurso RSU I 06 abordado nesta dissertação, que envolve as zonas da Presa, Quinta do Gato, Solposto, Azenha de Baixo, Quinta do Torto, Azurva, Griné, Alagoas, Quinta da Bela Vista, Viso e Caião, foi analisado com o objetivo de ser otimizado, tendo em vista reduzir os custos associados ao mesmo. Estes custos podem ser custos de combustível, de manutenção dos veículos e equipamentos de recolha, associados à mão de obra utilizada, etc. Por outro lado, é também importante perceber que, diminuindo a distância percorrida, agregado à redução do consumo de combustível está a diminuição das emissões associadas ao processo de transporte.

Neste âmbito, o percurso RSU I 06 foi analisado aplicando duas funcionalidades (*Route* e *VRP*) do *software* utilizado.

Este percurso envolve 388 contentores com capacidade de 800 litros, distribuídos por 261 locais de recolha; a operação de recolha é diária, de segunda-feira a sábado, realizada em regime diurno, das 06:00 às 12:45; o veículo utilizado é de 20 metros cúbicos para o qual é necessário um condutor e dois cantoneiros. A área afeta ao percurso é, maioritariamente, uma zona habitacional, contendo também algumas zonas rurais.

Para o efeito da minimização do esforço de recolha, procedeu-se à aplicação da ferramenta *Network Analyst* ao referido percurso. Alguns dos valores utilizados, como as quantidades recolhidas, foram dados médios de um dado período de tempo (setembro, 2011).

Na análise apresentada é feita uma distinção para um percurso efetuado às segundas-feiras e outro para os restantes dias. Esta distinção teve como objetivo perceber a



resposta do *software* face ao cálculo de circuitos onde as quantidades a recolher são bastante diferentes de um caso para o outro.

Fazendo uso da aplicação *Route*, foram criados três cenários. Não envolvendo as quantidades a recolher, os três cenários criados incluem o cálculo do percurso que tem início nas instalações da ERSUC, visita todos os locais de recolha e regressa ao ponto inicial, podendo ou não ser considerado um tempo de serviço em cada ponto.

Uma das vantagens desta funcionalidade é a possibilidade de reordenar a sequência de visita dos pontos. No entanto, a funcionalidade *Route* apenas permite que o processo de otimização com base num único critério (impedância), sendo que, para uma certa distância percorrida está sempre associado um tempo e vice-versa. Para os três cenários, com base nos critérios impostos foram otimizadas as distâncias percorridas, para originar o melhor trajeto para visitar o conjunto de pontos.

Fazendo utilização da aplicação *VRP* foram criados cinco cenários (Cenário 4 a Cenário 8). Do primeiro ao último, foram tidos em conta vários atributos que permitem compreender a forma como opera o *software* face a estes problemas que envolvem a análise de redes e a otimização de circuitos.

No Cenário 4, a otimização é feita com base nas quantidades recolhidas, na distância percorrida e no tempo utilizado. No Cenário 5, às características do Cenário 4 são adicionados os tempos de serviço em cada local de recolha e na descarga do veículo. Já no Cenário 6, é adicionado um tempo total máximo para efetuar o circuito. Através da análise dos dois primeiros percursos traçados, seria de esperar que, neste terceiro ensaio, nem todos os pontos fossem visitados, já que foi imposta uma restrição de tempo máximo de realização do percurso. Face aos resultados obtidos nos primeiros três ensaios, no sétimo cenário foi alterada a capacidade do veículo de recolha. Por fim, no último cenário, partindo do Cenário 7, adicionou-se novamente um tempo total máximo para realização do circuito.

Em todos os ensaios, foi possível observar que o *software* origina os circuitos sempre da mesma forma. Isto é, depois de sair do local onde se encontrava, o veículo visita um ponto mais próximo, de seguida afasta-se para ir percorrer os vários locais e, por fim, vai novamente recolhendo os vários pontos, aproximando-se do local final de deposição dos resíduos.

Outra questão fundamental no problema de otimização de percursos de recolha é o número de circuitos efetuados para garantir que a totalidade de resíduos é recolhida. Nos

ensaios apresentados (Cenário 4 e 5) para as segundas-feiras, tendo em conta a maior quantidade de resíduos a recolher, foram necessárias três voltas. No entanto, numa das voltas eram recolhidos apenas 250 kg de resíduos. Na prática, o veículo de recolha não deveria efetuar uma viagem à ERSUC para descarregar apenas 250 kg. Por outro lado, para os restantes dias, onde as quantidades a recolher eram inferiores, foram necessárias apenas duas voltas.

Tendo um percurso que ser efetuado em mais do que um circuito, os locais visitados originam uma área de recolha para cada volta. No entanto, é de reparar que, dentro destas áreas, existem pontos que ficam para recolher em voltas seguintes. Este facto acontece devido aos sentidos de circulação ou mesmo às quantidades recolhidas, mas deveria ser evitado já que pretende-se que o veículo de recolha não passe mais do que uma vez na mesma zona.

Uma das funções do *VRP* é otimizar a frota de veículos utilizada num determinado percurso. No entanto, para o caso da recolha de resíduos do percurso RSU I 06, recorre-se apenas a um veículo de recolha. Dado que, se se optasse por utilizar mais do que um veículo, os custos associados ao percurso seriam superiores, esta função do *VRP* não foi utilizada.

Por outro lado, quando comparados, o *VRP* e o *Route*, é possível perceber que a sequência de visita proposta por ambos é diferente. Este facto acontece, uma vez que, a aplicação do *VRP* permite que o problema seja otimizado com base no tempo e na distância. A aplicação do *Network Analyst* é mais rigorosa utilizando o *VRP*, do que a opção *Route*. No caso da recolha de resíduos, onde se pretende visitar um dado conjunto de locais e recolher em cada um deles a quantidade neles colocada, a aplicação *VRP* é fundamental, uma vez que, envolve, no processo de otimização diversos critérios.

## **6.5 VISÃO HOLÍSTICA DA RECOLHA DE RESÍDUOS**

A aplicação do *Network Analyst*, mesmo na sua funcionalidade *VRP*, a um dado caso concreto para além de informação de base credível, apresenta limitações que muito dificilmente poderão conduzir à solução ótima.

Tendo em conta a natureza matemática destes problemas (*NP-hard*) será praticamente impossível ter a solução ótima; em vez disso pode ser mais útil encontrar uma boa solução.

Envolvendo o percurso RSU I 06, maioritariamente, zonas habitacionais e rurais, a recolha efetuada em regime diurno é a mais indicada. Se a zona envolvente fosse urbana (por exemplo, no centro na cidade) a recolha deveria decorrer no período noturno. Esta medida faria aumentar os custos associados, no entanto, os tempos utilizados seriam menores já que haveria menos trânsito e menos movimentação na via pública.

Por outro lado, pelo trabalho de campo efetuado, a frequência de recolha diária parece exagerada. Ou seja, seria possível alterar essa mesma frequência, continuando a garantir que as necessidades dos utentes fossem satisfeitas e que os custos associados à operação de recolha diminuíssem.

Assim, uma forma de otimizar o sistema seria, como demonstrado no Cenário 7, aumentando a capacidade do veículo de recolha. Utilizando um veículo de maior capacidade, o número de voltas iria diminuir e, conseqüentemente, a distância percorrida e o respetivo tempo utilizado também. Mas, por outro lado, esta medida obrigaria a que o tempo total de serviço fosse aumentado.

Pelos cenários analisados foi possível perceber que é difícil otimizar o percurso de forma a que este seja efetuado das 06:00 às 12:45 como acontece na realidade. Desta forma, não basta alterar a capacidade do veículo para cumprir o processo de recolha nesse intervalo de tempo.

Analisando todos os ensaios elaborados e face à forma como a recolha é efetuada atualmente, uma possível otimização seria a alteração da capacidade do veículo e a realização da recolha diariamente, mas dividindo a área do percurso em duas áreas distintas. Isto é, se o percurso se encontrasse dividido através dos locais de recolha, uma parte seria recolhida num determinado dia e o restante no dia seguinte. Desta forma, cada uma destas zonas passaria a ser recolhida de 2 em 2 dias, como esquematizado na Tabela 6.8, alternando a área recolhida em cada semana, tornando o serviço mais eficaz.

Tabela 6.8 – Representação de um percurso alternativo

	Semana 1		Semana 2	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
segunda-feira	x	-	-	x
terça-feira	-	x	x	-
quarta-feira	x	-	-	x
quinta-feira	-	x	x	-
sexta-feira	x	-	-	x
sábado	-	x	x	-
domingo	-	-	-	-

Pelos dados analisados, as necessidades do local não estariam em causa, os custos associados, as distâncias percorridas e os tempos utilizados seriam menores. No entanto, não havendo recolha ao domingo, ambas as áreas ficariam 2 dias sem serem recolhidas.

Pelo trabalho de campo realizado no âmbito desta dissertação, a capacidade instalada atualmente, pareceu a adequada se não mesmo excedentária, dado que, exceto à segunda-feira, ou seja, durante os restantes dias da semana, provavelmente a fração de utilização dos contentores é inferior a 50%, quando o valor recomendado é de cerca de 70 a 75%. Desta forma, mesmo alterando a frequência de recolha como proposto, era provavelmente possível garantir que a capacidade instalada era a adequada. No entanto, a implementação de uma nova frequência de recolha deveria ser testada na prática, podendo existir a necessidade de aumentar o número de contentores nas zonas mais críticas e de maior produção de resíduos.

Tendo acesso às quantidades efetivamente produzidas, seria possível representar uma alternativa otimizada mais ou menos real para o percurso estudado. A tabela anterior apresentada representa uma alternativa possível onde, dividindo a área total de recolha, reduz-se a frequência de recolha para metade. Isto é, atualmente, cada local de recolha é visitado seis vezes por semana, enquanto que, na alternativa proposta, mantendo a atual capacidade instalada, a visita passa a ser realizada três vezes por semana.

Uma alternativa seria ainda realizar a recolha com uma frequência modelada: maior nos centros urbanos e menor nos locais rurais, mesmo que possa ser necessário o reforço neste último caso.

Com estas medidas seria possível garantir a qualidade do serviço prestado e otimizá-lo reduzindo as distâncias percorridas, os tempos utilizados e os custos associados.

Existem outras medidas que requerem um custo inicial superior que, a longo prazo, seriam compensadoras e, além disso, otimizariam todo o processo de recolha. Estas medidas dizem respeito por exemplo à instalação de sensores de carga nos contentores e respetiva leitura *online* dos mesmos, ou até mesmo à troca dos próprios contentores para diferentes tipos de sistemas.

A primeira medida apresentada permite controlar o nível de enchimento de cada contentor, evitando assim a deslocação desnecessária ao mesmo. A troca dos contentores atuais por contentores subterrâneos seria outra medida que otimizaria o sistema. Este tipo de contentores subterrâneos ocupam pouco espaço à superfície, mas no seu interior existe um contentor de grande capacidade. Este tipo de sistemas é simples, de longa duração, previne a presença de odores, requer menos mão de obra...

Futuramente, se toda a informação estiver atualizada e georreferenciada e se se tiver acesso ao nível de enchimento dos contentores, será possível, em tempo real, otimizar diariamente a operação de recolha. Isto é, a aplicação do *Network Analyst* no SIG poderia, diariamente, fornecer o circuito contendo os locais onde ocorrem contentores que necessitem de ser recolhidos, por possuírem valores superiores a um dado nível de enchimento.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A recolha de resíduos urbanos é uma tarefa que envolve grandes recursos humanos e materiais, sendo por isso dispendiosa e com impactes ambientais não negligenciáveis. Para proceder à definição dos trajetos de recolha de resíduos urbanos é fundamental dispor de uma representação adequada da rede viária bem como, conhecer as especificidades do serviço nomeadamente, número de locais, número de contentores e a quantidade de resíduos a recolher de modo a ser possível encontrar soluções automatizadas para o problema dos circuitos de recolha otimizados.

### 7.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu aplicar com êxito uma tecnologia de otimização de trajetos de recolha com base em SIG. A aplicação *ArcMap* e a sua extensão *Network Analyst* permitem oferecer soluções de percursos otimizados, tendo sido desenvolvidos um conjunto de cenários alternativos baseados em duas funcionalidades: *Route* e *VRP*.

Para o efeito foi usado como caso de estudo o Percurso RSU I 06 do município de Aveiro. A partir de trabalho de campo, foi efetuado o inventário da infraestrutura de alocação (contentores) e depois à correção/adaptação da rede viária que serve a área em estudo.

A funcionalidade *Route* proporciona um circuito de recolha que otimiza o espaço percorrido (ou o tempo de recolha), sem quaisquer outros critérios a considerar. A funcionalidade *Vehicle Routing Problem* permite considerar um conjunto de restrições tais como a capacidade do veículo de recolha, os locais de partida e chegada do percurso, o local de paragem intermédia e o tempo total máximo para o percurso, utilizando como critérios de otimização, o tempo e a distância.

A análise dos resultados dos diferentes cenários, permitiu concluir que a funcionalidade *VRP* apresentou resultados envolvendo mais tempo ou maior distância que a funcionalidade *Route*, o que não é para admirar dado que a primeira opera com mais restrições do que a segunda. Ainda assim foi possível aplicar medidas de gestão que passam por alterações na frequência de recolha, a divisão do percurso em duas partes para ser possível cumprir o tempo total disponível para o percurso, a alteração da capacidade do veículo de recolha, horário de trabalho...

No âmbito do exercício realizado, ficou também claro que sem uma perceção holística da recolha dos resíduos poderá ser pouco útil este exercício de otimização. Esta perceção passa por reconhecer que numa área relativamente heterogénea de ocupação do solo (parte urbana e parte rural) não faz sentido que a recolha seja feita com a mesma frequência em todos os locais, por exemplo.

A partir da análise efetuada, conclui-se que o *Network Analyst* é uma ferramenta extremamente útil quando aplicada ao serviço de recolha de resíduos urbanos, possibilitando a tarefa de otimização de circuitos, apesar das restrições que apresenta.

## **7.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO**

Os SIG, como já foi mencionado anteriormente, apresentam já uma enorme potencialidade quando aplicados à área da gestão de resíduos. No entanto, ainda é possível verificar algumas dificuldades/obstáculos.

O *Network Analyst* foi desenvolvido para a resolução de problemas de transporte. Assim quando é aplicado a uma nova área, o conjunto de especificações de que faz uso, têm de ser estabelecidas.

Para a gestão de resíduos, são definidas especificações técnicas para criar bases de dados georreferenciadas dos locais de recolha e bases de dados da rede viária.

O *Network Analyst* constitui um instrumento de apoio à decisão, uma vez que este procura uma solução otimizada, que é sempre, inevitavelmente manipulada pelo utilizador. Este tem que conhecer todos os dados de entrada a introduzir e os possíveis resultados pretendidos.

No âmbito do trabalho realizado e com o objetivo de otimizar cada vez mais a operação de recolha de resíduos urbanos, deixam-se algumas sugestões para próximos trabalhos nesta temática da otimização de percursos:

- Envolvência de outros atributos no processo de otimização, incluindo restrições temporais de horário;
- Construção e modelação da rede viária do município, permitindo que o processo de otimização possa decorrer com mais alternativas de acesso a cada ponto;
- Informação sobre as quantidades de resíduos recolhidas em cada local, tendo em conta a população residente em cada arruamento; isto permitiria ter uma ideia

mais correta da frequência de recolha, tendo em conta a capacidade instalada em cada local;

- Interligação operacional entre um SBD, como por exemplo Access, com um SIG, de forma a manter a informação mais organizada e atualizada;
- Realização do mesmo tipo de exercício com outro *software* de forma a perceber se os resultados seriam semelhantes.



## Referências bibliográficas

- Afshar-Nadjafi, B., & Afshar-Nadjafi, A. (2014). A constructive heuristic for time-dependent multi-depot vehicle routing problem with time-windows and heterogeneous fleet. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*.
- Andrade, J., Ares, J., Garcia, R., & Pazos, J. (2004). A methodological framework for viewpoint-oriented conceptual modeling. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 30(5), 282–294.
- APA. (2012a). Gestão de Resíduos Urbanos. Retrieved from [www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)
- APA. (2012b). *Relatório Anual Resíduos Urbanos*. Retrieved from [www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)
- Baldacci, R., Battarra, M., & Vigo, D. (2008). Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 3–27).
- Barbarosoglu, G., & Ozgur, D. (1999). A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 26(3).
- Bodin, L. D., Golden, B., Assad, A., & Ball, M. (1983). Routing and scheduling of vehicle and crews: The state of the art. *Computers & Operations Research*, 10(2).
- Brandão, J. (2011). A tabu search algorithm for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 38, 140–151.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford Science Publications. ISBN 978-0198545927
- Carvalho, M. M. V. T. de C. (2008). *Optimização de circuitos e indicadores de recolha de resíduos urbanos. Caso de estudo: Município de Almada*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Retrieved from <http://run.unl.pt/handle/10362/4195>
- Chang, N.-B., Lu, H. Y., & Wei, Y. L. (1997). GIS Technology for Vehicle Routing and Scheduling in Solid Waste Collection Systems. *Journal of Environmental Engineering*, 901–910.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operation Research*, 12(4).
- CMA. (2011). Resíduos Sólidos Urbanos Indiferenciados. Retrieved from <http://sig.cm-aveiro.pt/ambiria/Page.aspx?id=36>

- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). *Introduction to Algorithms. Techniques in vascular and interventional radiology* (3ª Edição., Vol. 17). MIT Press and McGraw-Hill. ISBN 9780262033848
- Cruz, M. L. F. R. (2005). *A Caracterização de Resíduos Sólidos no Âmbito da sua Gestão Integrada*. Apontamentos Teóricos, Universidade do Minho.
- Cunha, C. B. (1997). *Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais*. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes.
- De Feo, G., & Malvano, C. (2012). Technical, economic and environmental analysis of a MSW kerbside separate collection system applied to small communities. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(10), 1760–74.
- Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território (2011).
- Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de novembro (2008).
- ERSAR. (2012). *RASARP - Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal*. ISBN 9789898360175 Retrieved from <http://www.ersar.pt/website/>
- ERSUC. (2013a). Retrieved from <http://ersuc.pt/www/>
- ERSUC. (2013b). *Relatório e Contas 2012*. Retrieved from <http://ersuc.pt/www/index.php/documentacao-diversa>
- ERSUC. (2014a). *Caracterização dos Resíduos Urbanos 2013*. Retrieved from <http://ersuc.pt/www/index.php/documentacao-diversa>
- ERSUC. (2014b). *Relatório e Contas 2013*. Retrieved from <http://ersuc.pt/www/index.php/documentacao-diversa>
- ESRI. (2013a). ArcGIS Help 10.1. Retrieved from [resources.arcgis.com](http://resources.arcgis.com)
- ESRI. (2013b). ESRI. Retrieved from [www.esri.com](http://www.esri.com)
- ESRI. (2013c). ESRI Portugal. Retrieved from <http://www.esriportugal.pt/>
- ESRI. (2013d). Formação ESRI Portugal – ArcGIS Network Analyst. Lisboa, Portugal: Lectures.

- Garcia, B.-L., Potvin, J.-Y., & Rousseau, J.-M. (1994). A parallel implementation of the Tabu search heuristic for vehicle routing problems with time window constraints. *Computers & Operations Research*, 21(9), 1025–1033.
- Geofabrik. (2013). OpenStreetMap Data Extracts. Retrieved from <http://download.geofabrik.de/>
- Hill, M. M., Santos, M. M. dos, & Monteiro, A. L. (2008). *Investigação Operacional: Transportes, Afectação e Optimização de redes* (1ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo. ISBN 978-972-618-496-6
- Hosny, M. (2011). Heuristic Techniques for Solving the Vehicle Routing Problem with Time Windows. In *International Conference on Future Information Technology* (Vol. 13, pp. 19–23). Singapore.
- Hou, M., & Liu, D. (2012). A novel method for solving the multiple traveling salesmen problem with multiple depots. *Chinese Science Bulletin*, 57(15), 1886–1892. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/s11434-012-5162-7>
- INE. (2011). Resultados definitivos dos Censos 2011. Retrieved from <http://www.ine.pt>
- Kanchanabhan, T. E., Abbas Mohaideen, J., Srinivasan, S., & Sundaram, V. L. K. (2011). Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 29(3), 323–339. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20392789>
- Karadimas, N. V., Kolokathi, M., & Loumos, V. (2007). Municipal Waste Collection of large items optimized with ArcGIS Network Analyst, 4. ISBN 9780955301827
- Karadimas, N. V., Doukas, N., Kolokathi, M., & Gerasimoula, D. (2008). Routing Optimization Heuristics Algorithms for Urban Solid Waste Transportation Management. *Wseas Transactions on Computers*, 7(12), 2023–2031.
- Kelly, J. P., & Xu, J. (1999). A Set-Partitioning-Based Heuristic for the Vehicle Routing Problem. *Inform Journal of Computing*, 11(2).
- Lenstra, J. K., & Rinnooy Kan, A. H. G. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks, An International Journal*, 11(2), 221–227.
- Lysgaard, J. (1997). *Clarke & Wright's Savings Algorithm*. Retrieved from [http://pure.au.dk/portal-asb-student/files/36025757/Bilag\\_E\\_SAVINGSNOTE.pdf](http://pure.au.dk/portal-asb-student/files/36025757/Bilag_E_SAVINGSNOTE.pdf)

- Martinho, M. G., & Gonçalves, M. G. (2000). *Gestão de Resíduos*. Universidade Aberta.
- Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. L. (2010). Traveling Salesman Problem: An Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. In D. Davendra (Ed.), *Traveling Salesman Problem, theory and applications* (pp. 1–24). ISBN 9789533074269
- Matos, M. A. A. de. (2009). *Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos*. Apontamentos teóricos da disciplina, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. Retrieved from <http://elearning.ua.pt>
- Matos, M. A. A. de. (2012). *Técnicas de Gestão de Resíduos*. Apontamentos teóricos da disciplina, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. Retrieved from <http://elearning.ua.pt>
- Matos, M. A. A. de. (2014). *Técnicas de Gestão de Resíduos*. Apontamentos teóricos da disciplina, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- Matos, M. A. A., Gomes, A. P. D., & Monteiro, E. C. M. (2013). A gestão da recolha de resíduos urbanos: novos e velhos desafios. *Comunicação Oral, 8as Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos, APESB/ISWA, Instituto Superior Técnico, Lisboa*.
- Monteiro, J. F. B. (2009). *Os SIG aplicados à gestão da recolha de resíduos urbanos*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- Oliveira, M. J. da S. (2008). *Optimização de Circuitos de Recolha de Lixos Domésticos em Zonas Urbanas*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Patrício, P. (2006). Breve introdução à teoria de grafos. Universidade do Minho.
- Pearn, W. L., & Chou, J. B. (1999). Improved solutions for the Chinese postman problem on mixed networks. *Computers & Operations Research*, 26, 819–827.
- PERSU 2020, do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (2014).
- PERSU II, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2007). ISBN 9789898097019 Retrieved from <http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PERSU.pdf>
- Pinto, M. S. A. (2012). *Recolha de resíduos urbanos indiferenciados do município de Aveiro*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Portaria n.º 187/2007, de 12 de fevereiro (2007). Diário da República, 1.ª série.

Potvin, J.-Y., Kervahut, T., Garcia, B.-L., & Rousseau, J.-M. (1996). The Vehicle Routing Problem with Time Windows Part I: Tabu Search. *Information Processing Letters*, 8(2).

Rada, E. C., Ragazzi, M., & Fedrizzi, P. (2013). Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(4), 785–92.

Reeves, C. R. (1993). *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*. (J. W. & Sons, Ed.). New York, NY.

Rhyner, C., Schwartz, L., Wenger, R., & Kohrell, M. (1995). *Waste management and resource recovery*. (Lewis Publishers, Ed.). ISBN 9780873715720

Santos, P. H. M. do R. (2011). *Avaliação de Circuitos de Recolha de Resíduos Urbanos: Indicadores Operacionais*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Schur, D. A., & Shuster, K. A. (1974). *Heuristic Routing for Solid Waste Collection Vehicles*.

Shuttleworth, R., Golden, B. L., Smith, S., & Wasil, E. (2008). Advances in Meter Reading: Heuristic Solution of the Close Enough Traveling Salesman Problem over a Street Network. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 487–501).

Silva, A. R. E. da. (2009). *Optimização da recolha de resíduos urbanos*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Silva, H. D. P. da. (2013). *Aplicação de ferramentas webSIG e algoritmos VRP no planeamento de rotas de recolha de resíduos urbanos. Caso de estudo: Penafiel*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

SMA. (2013). *Relatório Gestão e Contas 2012*. Retrieved from [http://www.smaveiro.pt/uebeimg/Documentos/RGC2012\\_APROVADO\\_PELCA\\_E\\_PELACMA.pdf](http://www.smaveiro.pt/uebeimg/Documentos/RGC2012_APROVADO_PELCA_E_PELACMA.pdf)

Solomon, M. M., & Desrosiers, J. (1988). Survey Paper — Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems (Vol. 22).

SUMA. (2009). Recolha de resíduos. Retrieved from <http://www.suma.pt/>

- Surekha, P. (2011). Solution To Multi-Depot Vehicle Routing Problem Using Genetic Algorithms, (August), 118–131.
- Taillard, É. (1993). Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problems. *Networks*, 23(8).
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*. USA: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-27858
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(3), 1176–1185.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues*. (McGraw-Hil.). ISBN 9780070632370
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. (S.-S. for I. and A. Mathematics, Ed.). Retrieved from [http://opac.ua.pt/F/RNNMEF1M6JNPI6DBVJKIVLMANDPDSS9ERGP87MGR9H2B73M3XB-29002?func=find-b&request=Vehicle+Routing+Problem&find\\_code=WRD&l2.x=13&l2.y=14&adjacent=N](http://opac.ua.pt/F/RNNMEF1M6JNPI6DBVJKIVLMANDPDSS9ERGP87MGR9H2B73M3XB-29002?func=find-b&request=Vehicle+Routing+Problem&find_code=WRD&l2.x=13&l2.y=14&adjacent=N)
- Vehicle Routing and Scheduling. (2000). In *Online Tutorial 5* (pp. 1–18).
- Wong, R. T. (2008). Vehicle Routing for Small Package Delivery and Pickup Services. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 475–485).

## Anexo A – Inventário de contentores de resíduos indiferenciados (RSU I 06)

ID Local	Percurso	Freguesia	Arruamento	Local	Nº cont / local
1	RSU I 06	Esgueira	Rua Carlos Alberto Moreira	Bela Vista - FT 4	2
2		Esgueira	Travessa da Malha	Bela Vista - JT Polidesportivo	2
3		Esgueira	Rua Nossa Senhora dos Anjos	Bela Vista - FT Lote 21	2
4		Esgueira	Rua Carlos Alberto Moreira	Bela Vista - FT Parque Infantil	2
5		Esgueira	Praceta Mário Nascimento	Bela Vista - FT 11	1
6		Esgueira	Rua Nossa Senhora dos Anjos	Bela Vista - FT 20 (Igreja Adventista)	2
7		Esgueira	Rua Nossa Senhora dos Anjos	Bela Vista - FT 39	2
8		Esgueira	Rua da Bela Vista	Bela Vista - FT 55	2
9		Esgueira	Rua dos Santos Populares	Bela Vista - JT Posto Transformação / FT 47	1
10		Esgueira	Rua dos Santos Populares	Bela Vista - FT 25	1
11		Esgueira	Rua 13 de Maio	Bela Vista - FT 20	2
12		Esgueira	Rua de São Bartolomeu	Cabo Luís - FT 37	2
13		Esgueira	Travessa do Cabo Luís	Cabo Luís - JT 2	2
14		Esgueira	Rua do Sol	Cabo Luís - JT Cruzamento com Praceta do Sol	2
15		Esgueira	Rua do Sol Poente	Cabo Luís - FT Cruzamento com Travessa do Sol	2
16		Esgueira	Rua Moisés Cabica	Cabo Luís - JT 12	2
17		Esgueira	Rua do Sol	Cabo Luís - FT 32 / PROX Ecopontos	2
18		Esgueira	Rua da Bela Vista	Areais – Entrada da Rua	1
19		Esgueira	Rua Dom Sancho I	Areais - FT 11	1
20		Esgueira	Rua General Costa Cascais	Areais - JT 11	1
21		Esgueira	Rua General Costa Cascais	Areais - FT Florista “Zezinha” / FT 64	1
22		Esgueira	Rua General Costa Cascais	Areais - FT 42	1
23		Esgueira	Rua do Caião	Areais - FT 71	2

24		Esgueira	Rua do Caião	Areais - FT 24	2
25		Esgueira	Rua do Viso	Viso - PROX Jardim de Infância	2
26		Santa Joana	Rua do Viso	Viso - FT 63	1
27		Santa Joana	Rua do Viso	Viso - FT 89	2
28		Santa Joana	Rua do Viso	Caião - CARJAP / JT 113	1
29		Santa Joana	Rua do Viso	Caião - JT 107	2
30		Santa Joana	Rua Vasco da Gama	Caião - JT Polidesportivo / FT 36	2
31		Santa Joana	Rua João Afonso de Aveiro	Caião – Fim da rua	2
32		Santa Joana	Rua Vasco da Gama	Caião - FT 44	2
33		Esgueira	Rua do Caião	Caião - FT 141	1
34		Esgueira	Rua do Caião	Caião - FT 169	1
35		Santa Joana	Rua da Sofia	Caião - FT 21	1
36		Santa Joana	Rua da Sofia	Caião - FT Restaurante Gavião	1
37		Esgueira	Rua Nova do Caião	Caião - FT Snack Bar “Praceta” / FT 26	1
38		Santa Joana	Rua do Caião	Caião - JT 111	2
39		Santa Joana	Rua do Caião	Caião - FT “Zé dos Cabritos” / FT 60	1
40		Santa Joana	Rua Dom Sancho I	Alagoas – JT Ecopontos / JT 40	1
41		Esgueira	Rua dos Areais	Areais - PROX 12	1
42		Esgueira	Rua Dom Sancho I	Areais - JT Passagem de Nível	1
43		Esgueira	Rua Bairro Manuel Duarte	Areais - FT 37	1
44		Santa Joana	Rua da República	Alagoas – JT Econpontos / JT 16A	2
45		Santa Joana	Rua da República	Alagoas - FT Snack Bar “Vale da Cerejeira” / JT 24	2
46		Santa Joana	Rua António Coelho Magalhães	Alagoas - FT 12	2
47		Santa Joana	Rua António Coelho Magalhães	Alagoas - PROX 12	1
48		Santa Joana	Avenida Santo António	Alagoas - FT Lote 7	2
49		Santa Joana	Rua Vale do Vouga	Areais - JT Linha de Caminho-de-ferro do Vouga	2



50		Santa Joana	Rua dos Areais	Griné - JT 76	2
51		Santa Joana	Rua da Prata	Griné - FT 1	2
52		Santa Joana	Rua do Ouro	Griné - JT 11	1
53		Santa Joana	Rua do Ouro	Griné - JT 1	2
54		Santa Joana	Rua da Prata	Griné - FT 24	2
55		Santa Joana	Rua 10 de Junho	Griné - FT 15	1
56		Santa Joana	Rua 10 de Junho	Griné - JT Ecopontos / FT 21	2
57		Santa Joana	Rua 10 de Junho	Griné - FT Lote 26	2
58		Santa Joana	Rua das Magnólias	Griné - JT 2	2
59		Santa Joana	Rua 31 de Janeiro	Griné - JT Quinta das Laranjeiras / JT Ecopontos	1
60		Santa Joana	Rua das Cerejeiras	Griné - JT Vidrão	1
61		Santa Joana	Rua da República	Alagoas - FT 41	1
62		Santa Joana	Rua da República	Alagoas - JT N 54 / JT Ecopontos	2
63		Esgueira	Rua da Praceta	Alagoas - FT 7A / FT Centro Veterinário de Aveiro	2
64		Santa Joana	Rua da República	Alagoas - FT "Novidades e Brinquedos Oliveira 3" / FT 92	2
65		Esgueira	Rua da República	Alagoas - FT 129	2
66		Esgueira	Rua da República	Alagoas - FT 141	3
67		Esgueira	Rua da República	Alagoas - JT 155	2
68		Esgueira	Rua João Sarabando	Alagoas - JT 17	1
69		Santa Joana	Rua Afonso Costa	Alagoas - FT Lote 13	2
70		Santa Joana	Rua de São João	Alagoas - FT 9	2
71		Santa Joana	Rua de Santa Joana	Alagoas - JT 27	1
72		Santa Joana	Rua Príncipe Perfeito	Alagoas - PROX 9	2
73		Santa Joana	Rua Príncipe Perfeito	Alagoas - FT 55	2
74		Santa Joana	Rua de Santa Joana	Alagoas - PROX Rua 1 de Maio	1
75		Santa Joana	Rua 1 de Maio	Alagoas - FT Rua das Tílias / FT 11	1

76		Santa Joana	Rua 1 de Maio	Alagoas - FT 29	2
77		Santa Joana	Rua 5 de Outubro	ALAGOAS - FT 6	1
78		Santa Joana	Rua 5 de Outubro	ALAGOAS - JT Posto de Transformação / FT 28	2
79		Santa Joana	Rua da Azenha	Alagoas - FT 36	1
80		Santa Joana	Rua da Azenha	Alagoas – Entroncamento com Rua de S. João	1
81		Santa Joana	Rua Fernando Pessoa	Quinta do Corisco - JT 49	1
82		Santa Joana	Rua Júlio Dinis	Quinta do Corisco - FT Ecopontos	2
83		Santa Joana	Rua Almada Negreiros	Quinta do Corisco - FT 24	1
84		Santa Joana	Rua Manuel Maria do Bocage	Quinta do Corisco - FT Moradias	1
84 <sup>1</sup>		Santa Joana	Rua Manuel Maria do Bocage	Quinta do Corisco - FT Moradias	1
85		Santa Joana	Rua Gil Vicente	Quinta do Corisco - FT 12	2
85 <sup>1</sup>		Santa Joana	Rua Gil Vicente	Quinta do Corisco - FT 60	1
86		Santa Joana	Rua Gil Vicente	Quinta do Corisco - FT 13	1
87		Santa Joana	Rua da Azenha	Quinta do Corisco - PROX 114	2
88		Santa Joana	Rua Luís de Camões	Alagoas - PROX 113	1
89		Santa Joana	Rua Luís de Camões	Alagoas - JT Colégio D. José I / JT Ecopontos	2
90		Santa Joana	Rua 8 de Dezembro	Alagoas - PROX 42	2
91		Santa Joana	Rua da Molareira	Alagoas - FT 5	2
92		Santa Joana	Rua 1 de Maio	Alagoas - FT 88A	1
93		Santa Joana	Rua 1 de Maio	Alagoas - FT 76	1
94		Santa Joana	Rua 1 de Maio	Alagoas - JT 67	1
95		Santa Joana	Rua 31 de Janeiro	Santa Joana - FT 30	2
96		Santa Joana	Rua 25 de Abril	Griné - FT 3	1
97		Santa Joana	Rua 25 de Abril	Griné - FT 23	1
98		Santa Joana	Rua 25 de Abril	Griné - FT Lote 8 Setor C	2
99		Santa Joana	Rua 25 de Abril	Griné - FT 36	1

100		Santa Joana	Rua dos Olivais	Griné - FT 30	1
101		Santa Joana	Rua da Liberdade	Griné - PROX 32	1
102		Santa Joana	Rua da Liberdade	Griné - PROX 4	1
103		Santa Joana	Praça General Humberto Delgado	Griné - JT Cabine EDP	1
104		Santa Joana	s/ topónimo	Griné - JT Novo Centro Social	2
105		Santa Joana	s/ topónimo	Griné - Jardim	1
106		Santa Joana	s/ topónimo	Griné – Traseiras Polícia de Segurança Pública	1
107		Santa Joana	s/ topónimo	Griné – Dentro das instalações	2
108		Santa Joana	Rua da Prata	Griné - FT Polícia de Segurança Pública	1
109		Santa Joana	Rua Adelino Amaro da Costa	Griné - FT 7 / PROX Vidrão	2
110		Santa Joana	Rua Doutor Francisco Sá Carneiro	Griné - JT 11	2
111		Santa Joana	Rua Adelino Amaro da Costa	Griné - JT 51	2
112		Santa Joana	Rua Nossa Senhora da Piedade	Griné - JT 27	1
113		Santa Joana	Rua Nossa Senhora da Piedade	Griné - FT Lote 3	2
114		Santa Joana	Rua do Barreiro	Quinta do Gato - FT ROCRIS	2
115		Santa Joana	Rua Mário Duarte	Quinta do Gato - PROX Parque Infantil S. Brás	2
116		Santa Joana	Rua Mário Duarte	Quinta do Gato - JT 53	1
117		Santa Joana	Rua da Fidec	Quinta do Gato - FT Travessa da Fidec	1
118		Santa Joana	Rua do Cócaro	Quinta do Gato - FT 11	1
119		Santa Joana	Rua do Cócaro	Quinta do Gato - FT Lote 5	1
120		Santa Joana	Travessa da Luz	Quinta do Gato - JT 5	2
121		Santa Joana	Rua da Quinta do Torto	Quinta do Gato – Traseiras Escola EB1 de Santa Joana / JT Ecopontos	1
122		Santa Joana	Rua da Quinta do Torto	Quinta do Gato - FT 57	1
123		Santa Joana	Rua da Azenha da Moita	Quinta do Gato - FT 97	1
124		Santa Joana	Rua da Azenha da Moita	Quinta do Gato – Entroncamento com caminho	1
125		Santa Joana	Rua da Azenha da Moita	Quinta do Gato - FT Oficina	1

126		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - JT Escola EB1 de Santa Joana	2
127		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - FT 230	2
128		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato - FT 115	2
129		Santa Joana	Rua das Cavadas	Quinta do Gato - FT 107	2
130		Santa Joana	Rua das Cavadas	Quinta do Gato - JT 24	2
131		Santa Joana	Rua da Quinta Nova	Presas - FT 295	1
132		Santa Joana	Rua Princesa Santa Joana	Quinta do Gato - JT 36	2
133		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato - JT 20	1
134		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato - JT 58B	2
135		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato - JT 75/77	1
136		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato - FT 108	1
137		Santa Joana	Rua Gago Coutinho	Quinta do Gato - JT Posto de Transformação	2
138		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato – Traseiras da capela / JT Ecopontos	2
139		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato - FT 210	1
140		Santa Joana	Rua de São Brás	Quinta do Gato - FT 207	2
141		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - FT 204	2
142		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - FT 152	2
143		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - JT 119	1
144		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - JT 68	1
145		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - FT 48	1
146		Santa Joana	Rua do Solposto	Quinta do Gato - FT 7	2
147		Santa Joana	Praça Baden Powell	Quinta do Gato - FT 8	1
148		Santa Joana	Rua Dom João II	Quinta do Gato – Centro Social de Santa Joana	1
149		Santa Joana	Rua Dom João II	Quinta do Gato - FT 22 / PROX Igreja de Santa Joana	2
150		Santa Joana	Rua Dom Afonso V	Quinta do Gato - JT Instalações	1
151		Santa Joana	Avenida de Santa Joana	Quinta do Gato - PROX 118	2

152		Santa Joana	Avenida de Santa Joana	Quinta do Gato - JT Centro Social Santa Joana Princesa	2
153		Santa Joana	Avenida de Santa Joana	Quinta do Gato - JT 43	1
154		Santa Joana	Rua do Viso	Quinta do Gato - JT 214	1
155		Santa Joana	Avenida de Santa Joana	Quinta do Gato - JT 20 / JT Ecopontos	1
156		Santa Joana	Rua do Viso	Quinta do Gato - ELECTREX	1
157		Santa Joana	Rua Nova do Viso	Quinta do Gato - PROX Cafeteria "Recanto"	2
158		Santa Joana	Rua Nova do Viso	Quinta do Gato - JT 100	2
159		Santa Joana	Rua Nova do Viso	Quinta do Gato - FT 65	2
160		Santa Joana	Rua Nova do Viso	Quinta do Gato - FT 17	1
161		Santa Joana	Rua do Freitas	Quinta do Gato - JT 12	1
162		Santa Joana	Rua São Geraldo	Presa - FT "Patrícia Cabeleireiros"	2
163		Santa Joana	Rua do Freitas	Presa - PROX 99 / JT Ecopontos	2
164		Santa Joana	Rua do Freitas	Quinta do Gato - FT 124	2
165		Santa Joana	Rua da Bombarda	Presa - JT 40	2
166		Santa Joana	Rua da Paz	Quinta do Gato - JT Cruzamentos	2
167		Santa Joana	Rua Pintora Vieira da Silva	Quinta do Gato - PROX "Casa Sítio dos Avós"	1
168		Santa Joana	Rua da Paz	Quinta do Gato - FT 2	2
169		Santa Joana	Rua Quinta Velha	Presa - JT 30	1
170		Santa Joana	Rua Dom João Evangelista de Lima Vidal	Presa - PROX 262 / PROX Ecopontos	2
171		Santa Joana	Rua Dom João Evangelista de Lima Vidal	Presa - FT 167	1
172		Santa Joana	Rua Dom João Evangelista de Lima Vidal	Presa - FT 144	1
173		Santa Joana	Rua São Geraldo	Presa - FT 26	1
174		Santa Joana	Rua Dom João Evangelista de Lima Vidal	Presa - JT Capela	1
175		Santa Joana	Rua Dom João Evangelista de Lima Vidal	Presa - JT 89 / JT Ecopontos	1
176		Santa Joana	Rua Dom João Evangelista de Lima Vidal	PRESA - FT 167	1
177		Santa Joana	Rua Norton de Matos	PRESA - FT 2	2

178		Santa Joana	Rua Dom João Evangelista de Lima Vidal	Presa - PROX Vidrão / PROX Guarda Fiscal	1
179		Esgueira	Rua Duarte Ludgero	Esgueira - FT Mitsubishi / JT 14	1
180		Esgueira	Rua Duarte Ludgero	Esgueira - Dentro Mitsubishi	2
181		Santa Joana	Rua do Cócaro	Quinta do Gato - FT 79	1
182		Santa Joana	Rua do Cócaro	Quinta do Gato - FT 155	1
183		Santa Joana	Rua dos Pinheirais	Quinta do Gato - FT 48	1
184		Santa Joana	Rua dos Pinheirais	Quinta do Gato - FT 22	1
185		Santa Joana	Rua Nova	Quinta do Gato – Entrada da rua	2
186		Santa Joana	Rua Quinta do Torto	Quinta do Gato - PROX 62	2
187		Santa Joana	Rua do Chão Meio Alto	Quinta do Gato - JT 23	2
188		Santa Joana	Rua do Chão Meio Alto	Quinta do Gato - PROX LOTE 12	1
189		Santa Joana	Rua Quinta do Torto	Quinta do Torto - FT 120 / JT Ecopontos	2
190		Santa Joana	Rua Quinta do Torto	Quinta do Torto - FT 150	1
191		Santa Joana	Rua Quinta do Torto	Quinta do Torto - FT 214	1
192		Santa Joana	Rua da Azenha de Baixo	Azenha de Baixo - FT 240	1
193		Santa Joana	Rua da Azenha de Baixo	Azenha de Baixo - PROX Parque dos camiões	1
194		Santa Joana	Rua de São Romão	Azenha de Baixo - FT Fonte	1
195		Santa Joana	Rua de São Romão	Azenha de Baixo - FT 22	1
196		Santa Joana	Rua da Azenha de Baixo	Azenha de Baixo - FT 56	1
197		Santa Joana	Rua da Azenha de Baixo	Azenha de Baixo - FT 74	1
198		Santa Joana	Rua da Primavera	Azenha de Baixo – Urbanização Azenhas Village / JT 9	1
199		Santa Joana	Rua da Primavera	Azenha de Baixo - Urbanização Azenhas Village / JT 9	1
200		Santa Joana	Rua do Cabeço	Azenha de Baixo - Urbanização Azenhas Village	1
201		Eixo	Rua da Azenha de Baixo	Azurva - JT 35	1
202		Eixo	Rua da Bica	Azurva – Entroncamento com Rua da Cruz	2
203		Eixo	Rua da Cruz	Azurva - JT Rua Professor Celso Santos	2

204		Eixo	Rua Professor Celso Santos	Azurva - FT Centro Social / JT Ecopontos	2
205		Eixo	Rua Professor Celso Santos	Azurva - PROX Lar de Idosos	1
206		Eixo	Rua das Sortes	Azurva - FT 21	2
207		Eixo	Rua da Cacieira	Azurva - JT 122	1
208		Eixo	Rua da Cacieira	Azurva - FT 81	1
209		Eixo	Rua da Cacieira	Azurva - PROX 21	2
210		Eixo	Rua das Eiras	Azurva - PROX 44	2
211		Eixo	Rua do Passadouro	Azurva - JT Tanques / FT 37	2
212		Eixo	Rua do Passadouro	Azurva – Traseiras da capela	2
213		Eixo	Rua Engenheiro Robert Erick Zipprich	Azurva - JT Entrada da Rua dos Aidos / JT 4	2
214		Eixo	Rua Engenheiro Robert Erick Zipprich	Azurva - JT 134	1
215		Eixo	Rua Padre Luís Pereira	Azurva - JT 16	1
216		Eixo	Rua Padre Luís Pereira	Azurva – Lar de deficientes	1
217		Eixo	Rua Agostinho da Silva	Azurva - PROX A5	2
218		Eixo	Rua José Cardoso Pires	Azurva - FT 7	2
219		Eixo	Rua Almirante Jaime Afreixo	Azurva - FT 12	1
220		Eixo	Rua David Mourão Ferreira	Azurva - FT 28	1
221		Eixo	Rua David Mourão Ferreira	Azurva - FT 49	1
222		Eixo	Rua Vieira da Silva	Azurva - JT Bloco A	1
223		Eixo	Rua Vieira da Silva	Azurva - PROX 10	1
224		Eixo	Rua Ferreira de Castro	Azurva - FT Lote 19	1
225		Eixo	Rua Ferreira de Castro	Azurva - FT 23 / JT Cabeleireira "Anabela Cruz"	1
226		Eixo	Rua Ferreira de Castro	Azurva - JT 13	1
227		Eixo	Rua Ferreira de Castro	Azurva - JT 26	2
228		Eixo	Rua Alexandre O'Neill	Azurva - FT 32	1
229		Eixo	Rua Vitorino Nemésio	Azurva - FT Escola	1

230		Eixo	Rua Vitorino Nemésio	Azurva - PROX Rua Vergílio Ferreira	2
231		Eixo	Rua Vitorino Nemésio	Azurva - PROX Lote 14	3
232		Eixo	Rua Vitorino Nemésio	Azurva - JT Lote 14 / JT Loja	4
233		Eixo	Rua Fernando Pessoa	Azurva - JT 27	3
234		Eixo	Rua Fernando Pessoa	Azurva - FT Lote 28	2
235		Eixo	Rua Fernando Pessoa	Azurva - JT Lote 27	2
236		Eixo	Rua António Lopes Graça	Azurva - PROX Lote 24	2
237		Eixo	Rua da Cruz	Azurva - PROX Ecopontos	2
238		Eixo	Rua Miguel Torga	Azurva - JT 44 / PROX Pastelaria "Urze dos Montes"	2
239		Eixo	Rua Engenheiro Robert Erick Zipprich	Azurva - FT 60	1
240		Eixo	Rua Doutor José Marques da Graça	Azurva - FT 166 / PROX Café "O Victor"	2
241		Eixo	Rua Doutor José Marques da Graça	Azurva - JT 79	2
242		Eixo	Rua Doutor José Marques da Graça	Azurva - JT 41	1
243		Eixo	Rua de Taboeira	Azurva - FT 75 / FT Salão do Reino das Testemunhas de Jeová	1
244		Eixo	Rua de Taboeira	Azurva - PROX Linha de caminhos-de-ferro do Vouga	1
245		Eixo	Rua de Eiras	Azurva - FT 90	1
246		Eixo	Rua do Passadouro	Azurva - PROX 53	1
247		Eixo	Rua do Passadouro	AZURVA - FT 94	1
248		Eixo	Rua dos Macocos	Azurva - PROX 97	1
249		Eixo	Rua do Cabeço Serrano	Azurva - PROX 60 / FT Campo de futebol de Azurva	1
250		Eixo	Rua do Cabeço Serrano	Azurva - FT 96	1
251		Esgueira	Rua Sérgio Vieira de Melo	Alagoas - FT Bloco A	2
252		Esgueira	Rua da República	Alagoas - FT 198 / FT Pinheiro Manso	1
253		Santa Joana	Rua da República	Alagoas - FT 164	1
254		Esgueira	Rua da República	Alagoas - FT 140 / PROX Café "Lopes"	2
255		Esgueira	Rua da República	Alagoas - FT 84 / FT Posto de Abastecimento Repsol	1



256		Esgueira	Rua da Boavista	Alagoas - JT Farmácia Alagoas	2
257		Esgueira	Rua da Boavista	Alagoas - FT Associação Industrial do Distrito de Aveiro	1
258		Esgueira	Rua da Boavista	Alagoas - PROX Carpintaria "José Garcia"	1
259		Eixo	Rua Virgílio Ferreira	Azurva - PROX Edifícios	1

**Anexo B – Códigos das freguesias**

<b>Código distrito</b>	<b>Descritivo do distrito</b>	<b>Código concelho</b>	<b>Descritivo do concelho</b>	<b>Código freguesia</b>	<b>Descritivo da freguesia</b>
01	Aveiro	05	Aveiro	01	Aradas
01	Aveiro	05	Aveiro	02	Cacia
01	Aveiro	05	Aveiro	05	Esgueira
01	Aveiro	05	Aveiro	08	Oliveirinha
01	Aveiro	05	Aveiro	10	S. Bernardo
01	Aveiro	05	Aveiro	11	S. Jacinto
01	Aveiro	05	Aveiro	13	Santa Joana
01	Aveiro	05	Aveiro	15	Eixo e Eirol
01	Aveiro	05	Aveiro	16	Requeixo, Nossa Sra. De Fátima e Nariz
01	Aveiro	05	Aveiro	17	Glória e Vera Cruz

## Anexo C – Quantidade de RSU depositadas em aterro em setembro de 2011

Dia	1ª parte (kg)	2ª parte (kg)	Total (kg)
1	7280	4440	11720
2	9040	5360	14400
3	8580	5840	14420
4	-	-	-
5	11940	11620	23560
6	7760	5220	12980
7	9360	2760	12120
8	7780	5340	13120
9	8560	5840	14400
10	8100	4940	13040
11	-	-	-
12	12600	11860	24460
13	7380	4540	11920
14	7440	5980	13420
15	8080	6060	14140
16	8000	5600	13600
17	8480	5420	13900
18	-	-	-
19	13360	10420	23780
20	8860	3700	12560
21	8460	5480	13940
22	8860	5560	14420
23	8440	3760	12200
24	8140	4000	12140
25	-	-	-
26	14920	10280	25200
27	7580	4380	11960
28	8460	4940	13400
29	7440	5520	12960
30	9420	3400	12820
			386580

## Anexo D – Base de dados dos locais de recolha

ID Local	Coordenadas XX	Coordenadas YY	Nº Cont/ local	Capacidade contentor	Nº Visitas/sem	Quantidade recolhida (segundas- feiras) (kg)	Quantidade recolhida (restantes dias) (kg)	Tempo de serviço (min)
1	532700	4499416	2	800	6	125,0	67,84	1
2	532705	4499262	2	800	6	125,0	67,84	1
3	532821	4499259	2	800	6	125,0	67,84	1
4	532686	4499192	2	800	6	125,0	67,84	1
5	532615	4499197	1	800	6	62,5	33,92	0,5
6	532612	4499263	2	800	6	125,0	67,84	1
7	532556	4499319	2	800	6	125,0	67,84	1
8	532452	4499327	2	800	6	125,0	67,84	1
9	532436	4499391	1	800	6	62,5	33,92	0,5
10	532459	4499413	1	800	6	62,5	33,92	0,5
11	532584	4499468	2	800	6	125,0	67,84	1
12	532347	4499492	2	800	6	125,0	67,84	1
13	532298	4499597	2	800	6	125,0	67,84	1
14	532143	4499446	2	800	6	125,0	67,84	1
15	532070	4499506	2	800	6	125,0	67,84	1
16	531989	4499390	2	800	6	125,0	67,84	1
17	532230	4499383	2	800	6	125,0	67,84	1
18	532139	4499185	1	800	6	62,5	33,92	0,5
19	531842	4499206	1	800	6	62,5	33,92	0,5
20	531766	4499269	1	800	6	62,5	33,92	0,5
21	531660	4499487	1	800	6	62,5	33,92	0,5

22	531694	4499418	1	800	6	62,5	33,92	0,5
23	531738	4499319	2	800	6	125,0	67,84	1
24	531776	4499157	2	800	6	125,0	67,84	1
25	531862	4499132	2	800	6	125,0	67,84	1
26	531921	4498988	1	800	6	62,5	33,92	0,5
27	531920	4498861	2	800	6	125,0	67,84	1
28	532047	4498680	1	800	6	62,5	33,92	0,5
29	532001	4498750	2	800	6	125,0	67,84	1
30	531790	4498776	2	800	6	125,0	67,84	1
31	531716	4498846	2	800	6	125,0	67,84	1
32	531743	4498737	2	800	6	125,0	67,84	1
33	531590	4498838	1	800	6	62,5	33,92	0,5
34	531473	4498799	1	800	6	62,5	33,92	0,5
35	531205	4498876	1	800	6	62,5	33,92	0,5
36	531102	4498823	1	800	6	62,5	33,92	0,5
37	531459	4498909	1	800	6	62,5	33,92	0,5
38	531625	4498984	2	800	6	125,0	67,84	1
39	531725	4499037	1	800	6	62,5	33,92	0,5
40	531996	4499143	1	800	6	62,5	33,92	0,5
41	532087	4499051	1	800	6	62,5	33,92	0,5
42	532229	4499043	1	800	6	62,5	33,92	0,5
43	532520	4499037	1	800	6	62,5	33,92	0,5
44	532319	4499001	2	800	6	125,0	67,84	1
45	532425	4498975	2	800	6	125,0	67,84	1
46	532450	4498928	2	800	6	125,0	67,84	1
47	532371	4498838	1	800	6	62,5	33,92	0,5

48	532209	4498947	2	800	6	125,0	67,84	1
49	532092	4499030	2	800	6	125,0	67,84	1
50	532190	4498741	2	800	6	125,0	67,84	1
51	532227	4498560	2	800	6	125,0	67,84	1
52	532261	4498606	1	800	6	62,5	33,92	0,5
53	532407	4498731	2	800	6	125,0	67,84	1
54	532500	4498790	2	800	6	125,0	67,84	1
55	532536	4498752	1	800	6	62,5	33,92	0,5
56	532583	4498710	2	800	6	125,0	67,84	1
57	532625	4498671	2	800	6	125,0	67,84	1
58	532736	4498768	2	800	6	125,0	67,84	1
59	532672	4498800	1	800	6	62,5	33,92	0,5
60	532549	4498924	1	800	6	62,5	33,92	0,5
61	532597	4498945	1	800	6	62,5	33,92	0,5
62	532765	4498906	2	800	6	125,0	67,84	1
63	532913	4498948	2	800	6	125,0	67,84	1
64	533082	4498840	2	800	6	125,0	67,84	1
65	533203	4498843	2	800	6	125,0	67,84	1
66	533223	4498827	3	800	6	187,5	101,76	1,5
67	533256	4498835	2	800	6	125,0	67,84	1
68	533309	4498948	1	800	6	62,5	33,92	0,5
69	533345	4498643	2	800	6	125,0	67,84	1
70	533363	4498475	2	800	6	125,0	67,84	1
71	533194	4498563	1	800	6	62,5	33,92	0,5
72	533197	4498681	2	800	6	125,0	67,84	1
73	533149	4498718	2	800	6	125,0	67,84	1

74	532958	4498826	1	800	6	62,5	33,92	0,5
75	532889	4498767	1	800	6	62,5	33,92	0,5
76	532857	4498676	2	800	6	125,0	67,84	1
77	532903	4498516	1	800	6	62,5	33,92	0,5
78	532973	4498428	2	800	6	125,0	67,84	1
79	533145	4498329	1	800	6	62,5	33,92	0,5
80	533258	4498248	1	800	6	62,5	33,92	0,5
81	533793	4498110	1	800	6	62,5	33,92	0,5
82	533848	4498017	2	800	6	125,0	67,84	1
83	533888	4498074	1	800	6	62,5	33,92	0,5
84	533921	4498192	1	800	6	62,5	33,92	0,5
84 <sup>1</sup>	533801	4498230	1	800	6	62,5	33,92	0,5
85	533970	4497943	2	800	6	125,0	67,84	1
85 <sup>1</sup>	533978	4498065	1	800	6	62,5	33,92	0,5
86	533913	4497937	1	800	6	62,5	33,92	0,5
87	533722	4497967	2	800	6	125,0	67,84	1
88	533339	4497826	1	800	6	62,5	33,92	0,5
89	533297	4497926	2	800	6	125,0	67,84	1
90	533153	4498088	2	800	6	125,0	67,84	1
91	532883	4497974	2	800	6	125,0	67,84	1
92	532792	4498088	1	800	6	62,5	33,92	0,5
93	532773	4498251	1	800	6	62,5	33,92	0,5
94	532795	4498476	1	800	6	62,5	33,92	0,5
95	532733	4498721	2	800	6	125,0	67,84	1
96	532671	4498720	1	800	6	62,5	33,92	0,5
97	532650	4498594	1	800	6	62,5	33,92	0,5

98	532637	4498503	2	800	6	125,0	67,84	1
99	532626	4498374	1	800	6	62,5	33,92	0,5
100	532561	4498288	1	800	6	62,5	33,92	0,5
101	532693	4498392	1	800	6	62,5	33,92	0,5
102	532683	4498600	1	800	6	62,5	33,92	0,5
103	532580	4498590	1	800	6	62,5	33,92	0,5
104	532541	4498613	2	800	6	125,0	67,84	1
105	532494	4498658	1	800	6	62,5	33,92	0,5
106	532474	4498676	1	800	6	62,5	33,92	0,5
107	532480	4498583	2	800	6	125,0	67,84	1
108	532398	4498651	1	800	6	62,5	33,92	0,5
109	532360	4498569	2	800	6	125,0	67,84	1
110	532518	4498480	2	800	6	125,0	67,84	1
111	532516	4498395	2	800	6	125,0	67,84	1
112	532622	4497987	1	800	6	62,5	33,92	0,5
113	532709	4497867	2	800	6	125,0	67,84	1
114	532650	4497720	2	800	6	125,0	67,84	1
115	532823	4497697	2	800	6	125,0	67,84	1
116	532964	4497703	1	800	6	62,5	33,92	0,5
117	532994	4497561	1	800	6	62,5	33,92	0,5
118	532880	4497471	1	800	6	62,5	33,92	0,5
119	532780	4497449	1	800	6	62,5	33,92	0,5
120	532714	4497398	2	800	6	125,0	67,84	1
121	532761	4497320	1	800	6	62,5	33,92	0,5
122	532878	4497218	1	800	6	62,5	33,92	0,5
123	533383	4496765	1	800	6	62,5	33,92	0,5



124	533423	4496727	1	800	6	62,5	33,92	0,5
125	533306	4496661	1	800	6	62,5	33,92	0,5
126	532653	4497319	2	800	6	125,0	67,84	1
127	532633	4497583	2	800	6	125,0	67,84	1
128	532315	4497637	2	800	6	125,0	67,84	1
129	532260	4497722	2	800	6	125,0	67,84	1
130	532128	4497883	2	800	6	125,0	67,84	1
131	531832	4497852	1	800	6	62,5	33,92	0,5
132	531922	4497916	2	800	6	125,0	67,84	1
133	531911	4497809	1	800	6	62,5	33,92	0,5
134	532040	4497753	2	800	6	125,0	67,84	1
135	532169	4497719	1	800	6	62,5	33,92	0,5
136	532255	4497686	1	800	6	62,5	33,92	0,5
137	532408	4497738	2	800	6	125,0	67,84	1
138	532397	4497531	2	800	6	125,0	67,84	1
139	532501	4497443	1	800	6	62,5	33,92	0,5
140	532553	4497386	2	800	6	125,0	67,84	1
141	532598	4497651	2	800	6	125,0	67,84	1
142	532541	4497763	2	800	6	125,0	67,84	1
143	532477	4497906	1	800	6	62,5	33,92	0,5
144	532385	4498035	1	800	6	62,5	33,92	0,5
145	532347	4498133	1	800	6	62,5	33,92	0,5
146	532268	4498347	2	800	6	125,0	67,84	1
147	532136	4498409	1	800	6	62,5	33,92	0,5
148	532154	4498161	1	800	6	62,5	33,92	0,5
149	532201	4498096	2	800	6	125,0	67,84	1

150	532252	4498002	1	800	6	62,5	33,92	0,5
151	531968	4498040	2	800	6	125,0	67,84	1
152	532163	4498271	2	800	6	125,0	67,84	1
153	532203	4498357	1	800	6	62,5	33,92	0,5
154	532160	4498482	1	800	6	62,5	33,92	0,5
155	532267	4498466	1	800	6	62,5	33,92	0,5
156	532117	4498612	1	800	6	62,5	33,92	0,5
157	532034	4498511	2	800	6	125,0	67,84	1
158	531842	4498598	2	800	6	125,0	67,84	1
159	531739	4498633	2	800	6	125,0	67,84	1
160	531608	4498743	1	800	6	62,5	33,92	0,5
161	531437	4498742	1	800	6	62,5	33,92	0,5
162	531484	4498581	2	800	6	125,0	67,84	1
163	531657	4498403	2	800	6	125,0	67,84	1
164	531713	4498331	2	800	6	125,0	67,84	1
165	531686	4498031	2	800	6	125,0	67,84	1
166	531819	4498214	2	800	6	125,0	67,84	1
167	531857	4498411	1	800	6	62,5	33,92	0,5
168	531913	4498269	2	800	6	125,0	67,84	1
169	531866	4498094	1	800	6	62,5	33,92	0,5
170	531693	4497867	2	800	6	125,0	67,84	1
171	531463	4498025	1	800	6	62,5	33,92	0,5
172	531429	4498181	1	800	6	62,5	33,92	0,5
173	531481	4498369	1	800	6	62,5	33,92	0,5
174	531342	4498289	1	800	6	62,5	33,92	0,5
175	531299	4498316	1	800	6	62,5	33,92	0,5

176	531204	4498428	1	800	6	62,5	33,92	0,5
177	531189	4498524	2	800	6	125,0	67,84	1
178	531036	4498586	1	800	6	62,5	33,92	0,5
179	531542	4499457	1	800	6	62,5	33,92	0,5
180	531559	4499422	2	800	6	125,0	67,84	1
181	533048	4497509	1	800	6	62,5	33,92	0,5
182	533307	4497467	1	800	6	62,5	33,92	0,5
183	533354	4497377	1	800	6	62,5	33,92	0,5
184	533240	4497335	1	800	6	62,5	33,92	0,5
185	533228	4497265	2	800	6	125,0	67,84	1
186	533282	4497172	2	800	6	125,0	67,84	1
187	533434	4497091	2	800	6	125,0	67,84	1
188	533564	4496980	1	800	6	62,5	33,92	0,5
189	533480	4497247	2	800	6	125,0	67,84	1
190	533657	4497373	1	800	6	62,5	33,92	0,5
191	533877	4497436	1	800	6	62,5	33,92	0,5
192	534177	4497496	1	800	6	62,5	33,92	0,5
193	534080	4497681	1	800	6	62,5	33,92	0,5
194	534037	4497810	1	800	6	62,5	33,92	0,5
195	534136	4497841	1	800	6	62,5	33,92	0,5
196	534282	4497843	1	800	6	62,5	33,92	0,5
197	534385	4497797	1	800	6	62,5	33,92	0,5
198	534344	4497739	1	800	6	62,5	33,92	0,5
199	534285	4497769	1	800	6	62,5	33,92	0,5
200	534232	4497668	1	800	6	62,5	33,92	0,5
201	534464	4497995	1	800	6	62,5	33,92	0,5

202	534545	4498334	2	800	6	125,0	67,84	1
203	534415	4498475	2	800	6	125,0	67,84	1
204	534351	4498348	2	800	6	125,0	67,84	1
205	534382	4498246	1	800	6	62,5	33,92	0,5
206	534396	4498179	2	800	6	125,0	67,84	1
207	534517	4498170	1	800	6	62,5	33,92	0,5
208	534701	4498095	1	800	6	62,5	33,92	0,5
209	534887	4498322	2	800	6	125,0	67,84	1
210	534764	4498706	2	800	6	125,0	67,84	1
211	534557	4498807	2	800	6	125,0	67,84	1
212	534611	4498619	2	800	6	125,0	67,84	1
213	534359	4498620	2	800	6	125,0	67,84	1
214	533895	4498635	1	800	6	62,5	33,92	0,5
215	533734	4498536	1	800	6	62,5	33,92	0,5
216	533739	4498486	1	800	6	62,5	33,92	0,5
217	533857	4498583	2	800	6	125,0	67,84	1
218	533862	4498533	2	800	6	125,0	67,84	1
219	533929	4498532	1	800	6	62,5	33,92	0,5
220	533819	4498344	1	800	6	62,5	33,92	0,5
221	533893	4498413	1	800	6	62,5	33,92	0,5
222	533928	4498408	1	800	6	62,5	33,92	0,5
223	533944	4498392	1	800	6	62,5	33,92	0,5
224	533972	4498425	1	800	6	62,5	33,92	0,5
225	534000	4498453	1	800	6	62,5	33,92	0,5
226	534035	4498489	1	800	6	62,5	33,92	0,5
227	534073	4498529	2	800	6	125,0	67,84	1

228	534018	4498533	1	800	6	62,5	33,92	0,5
229	534012	4498399	1	800	6	62,5	33,92	0,5
230	534057	4498438	2	800	6	125,0	67,84	1
231	534142	4498426	3	800	6	187,5	101,76	1,5
232	534195	4498506	4	800	6	250,0	135,68	2
233	534242	4498509	3	800	6	187,5	101,76	1,5
234	534235	4498416	2	800	6	125,0	67,84	1
235	534250	4498437	2	800	6	125,0	67,84	1
236	534298	4498496	2	800	6	125,0	67,84	1
237	534285	4498588	2	800	6	125,0	67,84	1
238	534093	4498585	2	800	6	125,0	67,84	1
239	534136	4498614	1	800	6	62,5	33,92	0,5
240	534474	4498604	2	800	6	125,0	67,84	1
241	534743	4498539	2	800	6	125,0	67,84	1
242	534895	4498472	1	800	6	62,5	33,92	0,5
243	535000	4498784	1	800	6	62,5	33,92	0,5
244	534969	4498848	1	800	6	62,5	33,92	0,5
245	534847	4498880	1	800	6	62,5	33,92	0,5
246	534477	4498891	1	800	6	62,5	33,92	0,5
247	534357	4498956	1	800	6	62,5	33,92	0,5
248	534285	4499019	1	800	6	62,5	33,92	0,5
249	533816	4498747	1	800	6	62,5	33,92	0,5
250	534052	4498811	1	800	6	62,5	33,92	0,5
251	533506	4498824	2	800	6	125,0	67,84	1
252	533565	4498729	1	800	6	62,5	33,92	0,5
253	533413	4498777	1	800	6	62,5	33,92	0,5

254	533301	4498808	2	800	6	125,0	67,84	1
255	533000	4498873	1	800	6	62,5	33,92	0,5
256	533002	4498958	2	800	6	125,0	67,84	1
257	532997	4498987	1	800	6	62,5	33,92	0,5
258	533013	4499269	1	800	6	62,5	33,92	0,5
259	534162	4498363	1	800	6	62,5	33,92	0,5